



Pro gradu -tutkielma

Maantiede

Geoinformatiikka

HELSINGIN VIHERNÄKYMIEN KARTOITUS GOOGLEN KATUNÄKYMÄKUVISTA

Akseli Toikka

2019

Ohjaajat: Juha Oksanen
Ville Mäkinen
Tuuli Toivonen

HELSINGIN YLIOPISTO
MATEMAATTIS-LUONNONTIETEELLINEN TIEDEKUNTA
GEOTIETEIDEN JA MAANTIETEEN LAITOS
MAANTIEDE

Pl 64 (Gustaf Hällströmin katu 2)
00014 Helsingin yliopisto



Tiedekunta/Osasto Fakultet/Sektion – Faculty Matemaattis-luonnontieteellinen		Laitos/Institution – Department Geotiede ja maantiede
Tekijä/Författare – Author Akseli Toikka		
Työn nimi / Arbetets titel – Title Helsingin vihernäkymien kartoitus Googlen katunäkymäkuvista		
Oppiaine / Läroämne – Subject Maantiede - Geoinformatiikka		
Työn laji/Arbetets art – Level Pro gradu - tutkielma	Aika/Datum – Month and year 05/2019	Sivumäärä/ Sidoantal – Number of pages 63 s.
Tiivistelmä/Referat – Abstract <p>Kaupunkikasvillisuutta on perinteisesti kartoitettu kaukokartoitusmenetelmin kuten laserkeilaamalla ja ilmakuvatulkintana. Ylhäältä käsin tehtävä kaukokartoitus ei kuitenkaan aina pysty antamaan todenmukaista kuvaa siitä vihreän kasvillisuuden määrästä, jonka ihminen näkee kadulla liikkeessään. Perinteisten menetelmien rinnalle on viimeaikaisissa tutkimuksissa esitetty katunäkymäkuvilta havainnoitavaa vihernäkymää. Vihernäkymää mitataan viherindeksillä, joka kertoo vihreän kasvillisuuden prosentuaalisen osuuden katunäkymästä tietyllä sijainnilla. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli luoda katunäkymistä laskettu vihernäkymäaineisto Helsingistä, sekä tutkia ihmisen perspektiivin ja ylhäältä päin kuvatun aineiston eroja kaupunkivihreyden kartoituksessa.</p> <p>Tutkimuksen aineistona käytettiin Googlen ohjelmointirajapinnasta ladattuja katunäkymäkuvia Helsingistä. Aineisto rajautui niille alueille, joilta Googlen katunäkymäkuvia oli saatavilla kesäkuukausilta. Perustuen katunäkymäkuvilta laskettuihin viherindeksi arvoihin, laadittiin Helsingistä vihernäkymäkartoja eri spatiaalisilla tarkastelutasoilla. Jotta voitaisi ymmärtää perspektiiveistä aiheutuvia eroja, vihernäkymää vertailtiin Helsingin seudulliseen maanpeiteaineistoon lineaarisella regressiolla. Alueita, joilla aineistot erosivat toisistaan huomattavasti, tarkasteltiin visuaalisesti katunäkymäkuvien kautta. Osana tutkimusta Helsingin vihernäkymää vertailtiin myös kansainvälisesti kaupunkeihin, joista vastaava aineisto oli saatavilla.</p> <p>Tutkimuksessa ilmeni Helsingin vihernäkymän jakautuvan varsin epätasaisesti. Alhaisimpia viherindeksi arvoja esiintyi erityisesti kantakaupungissa, teollisuusalueilla, sekä lähi- ja liikekeskuksissa. Korkeimpia viherindeksi arvoja havaittiin omakotitalovaltaisilla asuinalueilla. Vertailtaessa maanpeiteaineistoon, viherindeksin havaittiin korreloivan heikosti matalan kasvillisuuden kanssa. Puuston kanssa korrelaatio oli selvästi voimakkaampi. Eroja aineistojen välillä havaittiin olevan erityisesti alueilla, joilla kasvillisuus ei erilaisista syistä näy kadulle. Virhelähteitä aiheuttivat vanhimmat katunäkymäkuvat, sekä kasvillisuuden tunnistusmenetelmään liittyvät virheet, kuten muut vihreät objektit, sekä kirkkaiden valaistusolosuhteiden aiheuttamat varjot.</p> <p>Vaikka Helsingissä on paljon puistoja ja viheralueita, katunäkymä ei aina näyttäydy kovin vihreänä. Tässä tutkimuksessa luotu aineisto auttaa ymmärtämään ihmisten havainnoiman katuvihreyden alueellista jakautumista ja tuo ihmisen näkökulman perinteisten kaukokartoitusaineistojen rinnalle. Yhdistettynä aikaisempiin kaupunkivihreysaineistoihin, vihernäkymäaineisto auttaa rakentamaan kokonaisvaltaisemman kuvan Helsingin kaupunkivihreydestä.</p>		
Avainsanat – Nyckelord – Keywords		
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited		
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information <p>Tutkimuksen toimeksiantajana toimi Paikkatietokeskuksen Geoinformatiikan ja kartografian osasto. Menetelmäosuuden skriptit ovat saatavissa osoitteessa https://github.com/geoporttishare/Helsinki_GreenView</p>		



Tiedekunta/Osasto Fakultet/Sektion – Faculty Faculty of Science		Laitos/Institution– Department Geosciences and geography
Tekijä/Författare – Author Akseli Toikka		
Työn nimi / Arbetets titel – Title Mapping the green view of Helsinki through Google street view images		
Oppiaine /Läroämne – Subject Geography - Geoinformatics		
Työn laji/Arbetets art – Level Master's thesis	Aika/Datum – Month and year 05/2019	Sivumäärä/ Sidoantal – Number of pages 63 pp.
Tiivistelmä/Referat – Abstract <p>Urban vegetation has traditionally been mapped through traditional ways of remote sensing like laser scanning and aerial photography. However, it has been stated that the bird view examination of vegetation cannot fully represent the amount of green vegetation that the citizens observe on street level. Recent studies have raised human perspective methods like street view images and measuring of green view next to more traditional ways of mapping vegetation. Green view index states the percentage of green vegetation in street view on certain location. The purpose for this study was to create a green view dataset of Helsinki city through street view imagery and to reveal the differences between human perspective and aerial perspective in vegetation mapping.</p> <p>Street view imagery of Helsinki was downloaded from Google street view application interface. The spatial extent of the data was limited by the availability of street view images of summer months. Several green view maps of Helsinki were created based on the green view values calculated on the street view images. In order to understand the differences between human perspective and the aerial view, the green view values were compared with the regional land cover dataset of Helsinki through linear regression. Areas with big differences between the datasets were examined visually through the street view imagery. Helsinki green view was also compared internationally with other cities with same kind of data available.</p> <p>It appeared that the green view of Helsinki was divided unequally across the city area. The lowest green view values were found in downtown, industrial areas and the business centers of the suburbs. Highest values were located at the housing suburbs. When compared with the land cover, it was found that the green view has a weak correlation with low vegetation and relatively high correlation with taller vegetation such as trees. Differences between the datasets were mainly concentrated on areas where the vegetation was not visible from the street by several reasons. Main sources of errors were the oldest street view images and the flaws in image classification caused by other green objects and shadows.</p> <p>Even though Helsinki has many parks and other green spaces, the greenery visible to the streets isn't always that high. The green view dataset created in this study helps to understand the spatial distribution of street greenery and brings human perspective next to more traditional ways of mapping city vegetation. When combined with previous city greenery datasets, the green view dataset can help to build up more holistic understanding of the city greenery in Helsinki</p>		
Avainsanat – Nyckelord – Keywords		
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited		
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information <p>The study was commissioned by Finnish Geospatial Research Institute, Department of Geoinformatics and Cartography.</p> <p>The method phase scripts are available at https://github.com/geoportishare/Helsinki_GreenView</p>		

Sisällysluettelo

1	Johdanto.....	9
2	Tutkimuksen tausta.....	10
2.1	Kaupunkivihreys ja sen merkitys	10
2.2	Kaupunkivihreyden kartoitus	11
2.3	Vihernäkymä ja ihmisen mittakaavainen tarkastelu.	12
2.3.1	Vihernäkymä ja viherindeksi	12
2.3.2	Ihmisen perspektiivi	13
2.3.3	Vihernäkymä tutkimuksessa.....	13
2.4	Katunäkymäkuvat ja niiden lähteet	14
2.5	Katunäkymäkuvat tutkimuksessa	16
2.6	Vihernäkymien tulkintaa katunäkymäkuvista	17
2.6.1	Manuaalinen kuvatulkinta	17
2.6.2	Pikselipohjaiset menetelmät	17
2.6.3	Segmentointi luokittelun apuna	18
2.6.4	Syväoppiminen vihernäkymän laskemisessa.....	19
3	Aineisto ja menetelmät	20
3.1	Tutkimusalueena Helsinki	20
3.2	Aineistot	25
3.3	Menetelmät	26

3.3.1	Kuvapisteiden määrittäminen ja metatietojen lataus.	26
3.3.2	GSV-kuvien lataus.....	28
3.3.3	Viherindeksin laskeminen kuvapisteille	31
3.3.4	Katujen, ruutujen ja kaupunginosien viherindeksi.	33
3.3.5	Vertailuaineistojen hankinta ja käsittely.....	34
3.3.6	Viherindeksin ja maanpeiteaineiston vertailu.....	36
4	Tulokset.....	37
4.1	Vihernäkymä vs. kasvillisuuspeitto	37
4.2	Helsingin vihernäkymät.....	41
4.2.1	Viherindeksijakauma ja kansainvälinen vertailu	41
4.2.2	VI-arvojen alueellinen jakautuminen	43
5	Keskustelu	46
5.1	Aineistoverailu	46
5.1.1	Perspektiivieroja	46
5.1.2	Virhelähteitä	47
5.2	Helsingin vihernäkymät.....	51
5.2.1	Kansainvälinen vertailu	51
5.2.2	Alueelliset erot.....	51
5.3	Aineiston ja menetelmien hyödyntäminen tulevaisuudessa	54
6	Yhteenveto.....	55
7	Kiitokset	56

Kuvaluettelo

Kuva 1. Neljän eri kaupungin vihernäkymien vertailua Treepedia-verkkosivustolla. Vihreät viivat histogrammeissa merkitsevät kaupungin viherindeksin mediaania. Mediaani on myös ilmoitettu prosenttilukuna histogrammin alla. (MIT Senseable City Lab, 2019). s.14

Kuva 2. Kartta Googlen katunäkymäkuvien maailmanlaajuisesta kattavuudesta (Google, 2019b). Mercatorin projektion käyttö esityksessä saa napoja lähellä olevat alueet näyttämään todellisuutta suuremmilta. s.15

Kuva 3. Hajontakaavio GSV-kuvista lasketuista vihernäkymistä, jossa objektipohjaisen luokittelun tuloksia vertaillaan manuaalisesti luokiteltuihin kuviin (Li, Zhang, Li, Kuzovkina, ym., 2015) s.19

Kuva 4. Helsingin maankäyttöalueet, liikenneväylät, sekä esimerkinäkymien sijainnit. Taustakartan lähteet: (KYMP, 2018b; Liikennevirasto, 2018) s.21

Kuva 5. GSV-näkymät A) Helsingin rautatieasemalta ja B) Bulevardilta (Google, 2019b). s.22

Kuva 6. GSV-näkymät asuntovaltaisilta alueilta A) omakotitaloaluetta Pakilasta ja B) kerrostaloaluetta Pohjois-Haagassa (Google, 2019b). s.22

Kuva 7 GSV-näkymät lähikeskuksista. A) Mellunmäki ja B) Malmi (Google, 2019b). s.23

Kuva 8. GSV-näkymät Helsingin tärkeimmiltä toimitila-alueilta. A) Roihupelto ja B) Pitäjänmäki (Google, 2019b). s.23

Kuva 9. GSV-näkymät Helsingin "vihersormilta" A) Keskuspuistosta Ruskeasuon kohdalla ja B) Helsingipuistosta Vantaanjoen varrelta (Google, 2019b). s.24

Kuva 10. GSV-näkymät Helsingin rannoilta A) Laajalahden rannalta Munkkiniemestä ja B) Katajanokan rantapuistosta. (Google, 2019b). s.24

Kuva 11. Työkaavio menetelmäosion kappaleista. s.26

Kuva 12. Työkaavio kuvapisteiden määrittämisestä ja metatietojen latauksesta. s.27

Kuva 13. Työkaavio GSV kuvien latauksesta halutuilta kuvapisteiltä. s.28

Kuva 14. Kuvien ottoaikojen perusteella tehdyssä karsinnassa hyväksyttiin vain toukokuusta syyskuuhun kuvatut kuvapisteen. Poisluetut kuvapisteen sisälsivät kuvia huhti-, loka- ja marraskuulta. Taustakartan lähteet: (KYMP, 2018b) s.29

Kuva 15. Esimerkki panoraaman LMxvWUHqVxcqUkYyFDqEHA suuntaan 300° tehdystä URL-hausta ja hakua vastaavasta kuvasta (Google, 2019b). s.30

Kuva 16. Esimerkki yhden kuvapisteen 360 asteen katunäkymän latauksesta kuudessa osassa (Google, 2019b). s.30

Kuva 17. Viherindeksin laskentakaavio yhdelle GSV-kuvalle. s.31

Kuva 18. Esimerkki Mean Shift-algoritmilla segmentoidusta GSV-kuvasta. A: Alkuperäinen kuva. B: Segmentoitu kuva (Google, 2019b). s.32

Kuva 19. GSV-kuvasta laskettu binääri viherkuva, jossa valkoiset pikselit ovat luokituneet kasvillisuudeksi. B. binäärikuva yhdistettynä alkuperäiseen GSV-kuvaan. Kuvan laskettu VI on 43.97%. (Google, 2019b) s.33

Kuva 20. Yhden kuvapisteen VI arvon laskentakaava, jossa $Area_{g_i}$ = vihreiden pikseleiden määrä ja $Area_{t_i}$ = kaikkien pikseleiden määrä jokaisessa kuudessa yhdeltä kuvapisteeltä ladatussa kuvassa. s.33

Kuva 21. Työkaavio katulinkkien, YKR-ruutujen ja kaupunginosien viherindeksin laskemisesta. s.34

Kuva 22. Työkaavio maanpeiteaineiston käsittelystä vertailua varten. s.35

Kuva 23. Kartassa maanpeiteaineiston kasvillisuuspeitto, sekä kuvapisteille laskettu 30 metrin puskurivyöhyke. Kuvan selkeyttämiseksi jokaisen kuvapisteen puskurivyöhykettä ei ole piirretty erikseen. Puskurivyöhykkeiden sisältä laskettiin puuston, matalan kasvillisuuden, sekä koko kasvillisuuden prosentuaaliset osuudet puskurin pinta-alasta. Taustakartan lähteet: (HSY, 2016; KYMP, 2019) s.36

Kuva 24. Työkaavio viherindeksin ja kasvillisuuspeiton välillä tehdystä vertailusta. s.37

Kuva 25. Lineaarisen regression tulokset. s.38

Kuva 26. Kartta kuvapisteistä, joiden VI-arvot ja kasvillisuuspeitto 30 metrin puskurivyöhykkeellä eroavat toisistaan huomattavasti. Vihreiden kuvapisteen VI-arvot ovat yli 30% ja kasvillisuuspeitto puskurivyöhykkeellä alle 15%. Punaisten kuvapisteen VI-arvot ovat alle 15%, mutta kasvillisuuspeitto puskurivyöhykkeellä yli 30%. Taustakartan lähteet: (KYMP, 2018b; Liikennevirasto, 2018) s.39

Kuva 27. Kuvapisteen, joissa VI-arvot ja kasvillisuuspeitto 30 metrin säteellä eroavat toisistaan, katunäkymiä. Katunäkymissä A ja B korkea VI-arvo ja matala kasvillisuuspeitto. Katunäkymissä C, D, E ja F matala VI arvo, mutta korkea kasvillisuuspeitto (Google, 2019b). s.40

Kuva 28. Histogrammi kuvapisteiden VI-arvojen jakautumisesta Helsingissä. s.41

Kuva 29 Pylväsdiagrammi vertailukaupunkien mediaani VI arvoista (MIT Senseable City Lab, 2019) s.42

Kuva 30. Pylväsdiagrammi vertailukaupunkien VI-arvoista suhteutettuna väestötiheyteen (asukasta/km²) (MIT Senseable City Lab, 2019). s.42

Kuva 31. Kartta kaupunginosien VI-keskiarvoista. Taustakartan lähteet: (KYMP, 2018a, 2018b) s.43

Kuva 32. Kartta YKR-ruutujen VI-keskiarvoista. Taustakartan lähteet: (KYMP, 2018b) s.44

Kuva 33. Kartta kantakaupungin katulinkkien VI-keskiarvoista. T (KYMP, 2018b; Liikennevirasto, 2018) s.45

Kuva 34. Kasvillisuuspeitekartta Vallilasta. Punaisella merkittyjen kuvapisteiden VI-arvot ovat alle 15 %, mutta 30 metrin puskurivyöhykkeellä kasvillisuuspeitto on yli 30 %. Taustakartan lähteet: (HSY, 2016; KYMP, 2019) s.47

Kuva 35. Esimerkki ajallisten erojen aiheuttamista virheistä. Kuvassa A on vuonna 2011 otettu katunäkymäkuva Alppikylän Väskgrändenin tieltä kohti pohjoista. Kuvassa B kuvakaappaus seudullisesta maanpeiteaineistosta Väskgrändenin tieltä. Punainen piste osoittaa katunäkymän sijainnin. (Google, 2019; HSY, 2016; KYMP, 2019; Liikennevirasto, 2018) s.48

Kuva 36. Vuodenaikojen aiheuttamia virheitä Tikkuritieltä. Kuva A Toukokuulta 2009, kuva B Syyskuulta 2011. Sekä lehdettömät puut, että lehtipuiden ruska pienentävät VI-arvoja (Google, 2019b). s.48

Kuva 37. Esimerkkejä virheellisesti luokittuneista kuvista. Vasemmalla ladattu GSV-kuva ja oikealla luokiteltu binäärikuva, jossa valkoiset pikselit ovat kasvillisuudeksi luokittuneita. Virheitä aiheuttivat mm. vihreät kulkuneuvot, kyltit ja rakennukset. Myös varjoon jäävä kasvillisuus aiheutti virheluokituksia erityisesti suorassa auringonvalossa (Google, 2019b) s.50

Kuva 38. Katunäkymiä eri kaupunginosista, sekä jokaisesta katunäkymästä laskettu VI arvo (Google, 2019b). s.53

Taulukkoluetelo

Taulukko 1. Taulukko tutkimuksessa käytetyistä aineistoista. s.25

1 Johdanto

Maailma kaupungistuu kiihtyvällä tahdilla. On arvioitu, että vuonna 2018 yli 55 % maailman väestöstä asui kaupunkialueilla (United Nations, 2018). Suomessa vastaava luku on noin 70 % (SVT, 2019). Erityisesti Helsinkiin ja pääkaupunkiseudulle kohdistuu suuri muuttopaine (Vuori & Kaaslia, 2018). Tiivistyvissä ja laajenevissa kaupungeissa on kiinnitettävä entistä tarkempaa huomiota ihmisten hyvinvointiin ja ympäristön viihtyisyyteen.

Kaupunkivihreydellä, eli kaupungeissa esiintyvällä kasvillisuudella on todettu olevan useita positiivisia vaikutuksia (Jäppinen, Tyrväinen, Reinikainen, & Ojala, 2014). Monenlaisten ekosysteemipalveluiden lisäksi kasvillisuus lisää alueiden viihtyisyyttä ja tukee esimerkiksi ihmisten taipumusta liikuntaan. Kasvillisuuden ja viheralueiden on myös todettu olevan tärkeä elementti ihmisten henkisen hyvinvoinnin kannalta (Haapala, Puolakka, & Rannisto, 2015).

Jotta kasvillisuuden hyötyjä voitaisiin jakaa tasaisesti, ja näin estää alueellinen eriarvoistuminen, tarvitaan suunnittelua. Suunnittelun tueksi kaupunkivihreyttä on perinteisesti kartoitettu maastomittauksilla ja kaukokartoituksella. Laajamittaiset maastotyöt ovat usein hankalia ja aikaavieviä. Kaukokartoituksella pystytään nykyään hankkimaan hyvinkin tarkkaa tietoa kasvillisuuden määrästä, tilasta ja jopa lajikirjosta (Mustafa, Habeeb, Stein, & Sulaiman, 2015; Nowak & Crane, 2002).

Perinteiset kaukokartoitusmenetelmät voivat kuitenkin olla varsin kalliita ja vaativat erityisosaamista, sekä laitteistoja. Ilma- tai satelliittikuvista johdetut aineistot myös kuvaavat tutkittavaa aluetta lähes poikkeuksetta ylhäältä käsin. Ilmasta käsin tehty tarkastelu ei välttämättä luo todenmukaista kuvaa siitä kasvillisuuden määrästä, jonka ihminen havaitsee ympäristössään (Li, Zhang, Li, Ricard, ym., 2015; Yang, Zhao, McBride, & Gong, 2009).

Perinteisten kaukokartoitusmenetelmien rinnalle on useissa viimeaikaisissa tutkimuksissa esitetty katuperspektiivistä kartoitettua vihernäkymää. Katuperspektiivin laajamittaisen käytön tutkimuksessa ovat mahdollistaneet viimeisen kymmenen vuoden aikana yleistyneet katunäkymäkuvapalvelut, kuten Google Street View (GSV) (Li, Zhang, Li, Ricard, ym., 2015). Vihernäkymällä tarkoitetaan kasvillisuuden osuutta katunäkymästä eli käytännössä katuvihreyden määrää (Yang ym., 2009). Vihernäkymän mittarina käytetään viherindeksiä (VI), joka kertoo vihreän kasvillisuuden prosentuaalisen osuuden katunäkymässä tietyllä sijainnilla (Yang ym., 2009).

1.1 Tavoite ja tutkimuskysymykset

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan vihernäkymän jakautumista Helsingissä, vertaillaan Helsingin vihernäkymää kansainvälisesti, sekä tarkastellaan vihernäkymän ja maanpeiteaineston kasvillisuuspeiton välisiä eroja. Tavoitteena on luoda katunäkymistä laskettu vihernäkymäaineisto Helsingistä, sekä vertailla ihmisen perspektiivin ja ylhäältä päin kuvatun aineiston eroja kaupunkivihreyden kartoituksessa. Tutkimuskysymykset ovat:

- 1) Millainen on Helsingin vihernäkymä?
 - a) Miten Helsingin vihernäkymä suoriutuu kansainvälisessä vertailussa?
 - b) Missä sijaitsevat viherindeksillä mitaten eniten ja vähiten vihreät alueet?
- 2) Onko vihernäkymän ja kasvillisuuspeiton välillä yhteyttä?
 - a) Vaikuttaako spatiaalinen tarkastelutaso tuloksiin?
 - b) Missä ja minkälaisilla alueilla aineistot poikkeavat toisistaan eniten, entä vähiten?

Tutkimuksen kirjallisuuskatsauksessa paneudutaan tarkemmin kaupunkivihreyteen ja sen kartoitukseen. Erityisesti keskitytään vihernäkymän kartoitukseen katunäkymäkuvilta, sekä siihen liittyviin menetelmiin. Tutkimusalueen esittelyssä kerrotaan tarkemmin Helsingistä, sekä Helsingin kaupunkivihreyden osa-alueista. Menetelmäosiossa käydään vaiheittain läpi, kuinka Helsingin vihernäkymän määrästä kertova viherindeksi on tässä tutkimuksessa laskettu ja kuinka sitä on vertailtu kasvillisuuspeittoon, sekä muiden kaupunkien viherindeksiarvoihin. Tutkimuksen tulokset esitetään erilaisina kuvaajina, sekä vihernäkymäkarttoina. Keskusteluosio sisältää pohdintaa viherindeksiin ja sen jakautumiseen vaikuttavista tekijöistä, sekä virhelähteistä.

2 Tutkimuksen tausta.

2.1 Kaupunkivihreys ja sen merkitys

Kaupungeissa esiintyvistä kasvillisuudesta puhutaan usein kaupunkivihreytenä. Kaupunkivihreyden osa-alueita ovat erilaiset puistot, ulkoilualueet ja metsäsaarekkeet. Myös katupuut, pihojen puutarhat ja vaikkapa talojen julkisivuilla kasvavat kukat ja köynnökset ovat osa kaupunkivihreyttä. Tässä tutkimuksessa kaupunkivihreydestä tai kaupunkikasvillisuudesta puhuttaessa tarkoitetaan kaikkea urbaanissa ympäristössä esiintyvää kasvillisuutta.

Sekä hoidetut alueet, kuten puistot ja puutarhat, että hoitamattomat alueet, kuten metsät ja joutomaat voivat tarjota kaupungeille tärkeitä ekosysteemipalveluita (Hwang, Lum, & Chan, 2015). Ekosysteemipalveluilla tarkoitetaan niitä aineellisia ja aineettomia hyötyjä, joita ihminen saa ekosysteemien rakenteesta ja toiminnasta (Suomen ympäristökeskus, 2013). Kaupunkikasvillisuudella onkin paljon ihmisen ja muiden eliöiden kannalta hyödyllisiä ominaisuuksia. Kasvillisuus esimerkiksi parantaa ilmanlaatua sitomalla ilmakehän hiilidioksidia ja hiukkaspäästöjä (Jim & Chen, 2008; Nowak & Crane, 2002).

Kaupunkikasvillisuudella on myös viilentävä vaikutus kuumien ilmasto-olosuhteiden kaupungeissa, joissa ne tarjoavat varjoa (Gong, Zeng, Zhang, ym., 2018; Li & Ratti, 2018) ja tasoittavat mikroilmastoja haihduttamalla (Onishi, Cao, Ito, Shi, & Imura, 2010; Wang & Akbari, 2016). Kaupungeissa, joissa pääosa pinnoista on vettä läpäisemättömiä, kasvillisuudella on myös tärkeä rooli sadevesien imeytymisessä, sekä tulvien ehkäisyssä (Sanders, 1986; B. Zhang, Xie, Zhang, & Zhang, 2012). Suurien liikenneväylien varsilla kasvillisuutta käytetään myös melusaasteen torjunnassa (Bucur, 2006).

Suorien ympäristövaikutusten lisäksi kasvillisuudella on todettu olevan myös epäsuoria vaikutuksia ihmisen terveyteen ja hyvinvointiin. Puistot ja virkistysalueet ovat useille ihmisille paikka rauhoittua, lieventää stressiä ja harrastaa sosiaalista kanssakäymistä (Grahn & Stigsdotter, 2003; Kweon, Sullivan, & Wiley, 1998). Kaupunkikasvillisuuden kattamien alueiden helpolla saavutettavuudella on todettu olevan positiivisia

yhteyksiä ihmisten mielialaan (Tyrväinen, Silvennoinen, Korpela, & Ylen, 2007) ja elinikään (Takano, Nakamura, & Watanabe, 2002). Sen on myös todettu vähentävän osaltaan ihmisten riskiä sairastua sydän- ja verisuonisairauksiin (Mitchell & Popham, 2008), liikalihavuuteen (Wolch ym., 2011), tai astmaan (Lovasi, Quinn, Neckerman, Perzanowski, & Rundle, 2008). Iso osa terveystaivatuksista on kytköksissä kasvillisuuden vaikutuksesta rakennettujen alueiden houkuttelevuuteen ja viihtyisyyteen (Haapala ym., 2015). Viihtyisien kaupunkiympäristöjen on todettu houkuttelevan ihmisiä liikkumaan enemmän (Kaczynski & Henderson, 2007) ja tukevan esimerkiksi kävelyä ja pyöräilyä (Lu, 2018). Liikunnan ja ulkoilun on todettu lisäävän ihmisten sekä henkistä, että fyysistä hyvinvointia (Haapala ym., 2015; Jäppinen ym., 2014).

Voidaan siis todeta, että kaupunkikasvillisuudella on paljon myönteisiä vaikutuksia. Toisaalta, erityisesti suurista puista saattaa olla myös haittoja kaupunki-infrastruktuurille. Jotkin eksoottiset puulajit saattavat esimerkiksi roskata ympäristöään huomattavasti, pinnassa kulkevat juuret voivat tehdä vahinkoja teiden päällysteille ja huonokuntoiset puut saattavat aiheuttaa tuhoja kaatuessaan. Puut saattavat myös peittää kriittisiä näkymiä esimerkiksi liikennemerkkien kohdilla (Ford, 2000).

Olisi tärkeää, että kaikilla ihmisillä olisi tasavertainen mahdollisuus päästä päivittäin kosketuksiin kaupunkivihreyden kanssa (Landry & Chakraborty, 2009). Näin ei kuitenkaan aina ole, sillä kaupunkivihreys on usein jakautunut varsin epätasaisesti kaupunkien sisällä. Myös kaupunkivihreyden laatu vaihtelee, ja vihheralueet voivat olla hyvinkin erilaisia kaupunkikeskustoissa kuin taajamien reuna-alueilla (Suomen ympäristökeskus, 2013). Esikaupunkialueilla kasvillisuus on usein yleisempää ja peittää laajalti talojen väliset alueet. Tiheämmin asutuilla alueilla, kuten kaupunkien keskustoissa, kasvillisuus on usein vähäisempää ja keskittynyt esimerkiksi puistoihin (Ford, 2000).

Kaupunkikasvillisuuden tuottamien hyötyjen tasapuolinen jakautuminen ja mahdollisten haittojen minimointi vaativat suunnittelua. Esimerkiksi Helsingissä, rakennusvirasto on vastuussa rakennetun ympäristön kasvillisuuden ylläpitämisestä ja kehitystyöstä (Tegel, 2009). Päätöksien tueksi, kaupunkisuunnittelu tarvitsee päivitettyä tietoa kaupunkivihreyden tilasta ja määrästä. Näin pystytään organisoimaan hoitotoimenpiteitä, kuten istuksia, harvennuksia, kaatoja ja kasteluja. Korkealaatuiset ja ajantasaiset aineistot helpottavat myös kasvillisuuden huomiointia, kun esimerkiksi kaupunki infrastruktuuria uusitaan (Tanhuanpää, Vastaranta ym., 2014).

2.2 Kaupunkivihreyden kartoitus

Kaupunkipuita ja kasvillisuutta on perinteisesti inventoitu katutason mittauksilla ja laskennoilla. Kentällä tapahtuvat mittaukset ovat kuitenkin hyvin aikaavieviä, kalliita ja varsinkin vapaaehtoisvoimin toteutettaessa, taipuvaisia virheille. Kaupunkikasvillisuuden kartoituksessa onkin jo pitkään sovellettu erilaisia kaukokartoitusmenetelmiä (Mustafa ym., 2015; Nowak & Crane, 2002).

Erittäin monimuotoinen kaupunkiympäristö asettaa myös kaukokartoitukselle haasteita. Kaukokartoitusta vaikeuttavat muun muassa korkeat rakennukset ja muut kaupunkiympäristöön kuuluvat objektit, sekä niiden varjot (Jensen, 2000). Perinteisesti kaupunkikasvillisuutta on kartoitettu optisilla menetelmillä, kuten ilmakuvatulkinalla ja aktiivisilla menetelmillä, kuten laserkeilaamalla (Jensen, 2000). Koska urbaani ympäristö on erittäin monimuotoinen, vaaditaan ilma- ja satelliittikuvilta suurta spatiaalista erotuskykyä.

Yksittäisten puiden tunnistamiseen riittävään spatiaaliseen tarkkuuteen päästään muun muassa ilmakuvilla ja uusilla korkean resoluution satelliittikuvilla (Mustafa ym., 2015).

Optisilla menetelmillä tarkoitetaan kartoitusta ilma- ja satelliittikuvilta (Jensen, 2000). Kasvillisuuden kaukokartoitus optisin menetelmin perustuu vihreälle kasvillisuudelle tyypilliseen heijasteeseen eri aallonpituuksilla. Vihreän kasvillisuuden klorofylli absorboi erityisen tehokkaasti elektromagneettisen säteilyn näkyvän valon sinistä ja punaista aallonpituusalueita, sekä heijastaa vihreän valon ja lähi-infrapun aallonpituuksia. Kasvillisuuden heijastuksesta elektromagneettisen säteilyn eri aallonpituuksilla onkin havaittavissa erityisesti heijastuksen suuri kasvu punaisen aallonpituusalueen (R, n. 600 nm) ja lähi-infrapuna alueen (NIR n. 800 nm) välillä (Jensen, 2000). Kasvillisuuden määrän kartoitukseen on kehitetty monia erilaisia kasvillisuusindeksejä. Kasvillisuusindeksejä käyttämällä voidaan kaukokartoituksessa pienentää eri tekijöiden, kuten varjojen, ilmakehän, kasvillisuuden alapuoleisen maan, maan kosteuden sekä auringon kulman aiheuttamaa kohinaa kuvassa. Yksi tunnetuimmista kasvillisuusindekseistä on NDVI eli Normalized Difference Vegetation Index (Jensen, 2000).

Laserkeilausta käytetään urbaanissa ympäristössä erityisesti kaupunkipuiden kartoituksessa (Holopainen ym., 2013). Laserkeilaus perustuu keilaimen lähettämiin valonsäteisiin, jotka heijastuvat takaisin sensoriin analysoitavaksi. Kun tiedetään sensorin tarkka sijainti ja suuntaus, on kerätystä aineistosta mahdollista muodostaa ympäristöä kuvaava kolmiulotteinen pistepilvi (Wehr & Lohr, 1999). Laserkeilausta on mahdollista suorittaa paitsi ilmasta, myös esimerkiksi maassa liikkuvan alustan, kuten auton katolta (Holopainen ym., 2013). Luodusta pistepilvestä on mahdollista erottaa puulajien lisäksi myös muuta informaatiota. Laserkeilausaineistosta pystytään laskemaan muun muassa puiden biomassa, tiheys, korkeus, sekä lehtiala (Matasci, Coops, Williams, & Page, 2018). Menetelmän etuja ovatkin erityisesti sen tarkkuus ja mahdollisuus tuottaa informaatiota myös kasvillisuuden kolmiulotteisesta rakenteesta (Jensen, 2000). Myös laserkeilausmenetelmien hyödynnettävyyttä vaikeuttavat kuitenkin urbaanit objektit, kuten rakennukset, sähkölinjat, valaisintolpat ja liikennemerkkit (Tanhuanpää, Kankare, ym., 2014)

2.3 Vihernäkymä ja ihmisen mittakaavainen tarkastelu.

2.3.1 Vihernäkymä ja viherindeksi

Useissa aikaisemmissa tutkimuksissa katutason vihernäkymää on mitattu GV- indeksillä (Green View Index, GVI), joka kertoo vihreän kasvillisuuden prosentuaalisen osuuden katunäkymästä (Yang ym., 2009). Tässä tutkimuksessa GVI:stä käytetään nimitystä viherindeksi. VI lasketaan määrittämällä käytettävien katunäkymäkuvien vihreät pikselit, joiden lukumäärä suhteutetaan kuvan kokonaispikselimäärään. VI lasketaan erikseen jokaiselle pisteelle, jolta katunäkymäkuvia on saatavilla. Yhden pisteen VI-arvo on kaikkien samasta pisteestä otettujen katunäkymäkuvien vihreiden pikseleiden prosentuaalisten osuuksien keskiarvo. Laskennassa on tutkimuksesta ja menetelmästä riippuen käytetty 1-18 kuvaa (Dong ym., 2018).

2.3.2 Ihmisen perspektiivi

Vihernäkymän ja perinteisten kaupunkivihreyden kartoitusmenetelmien suurin ero liittyy menetelmien perspektiivieroon. Siinä missä perinteiset kaukokartoitusmenetelmät kuvaavat alueita ylhäältä käsin, katunäkymäkuvat ja niistä laskettu viherindeksi kuvaavat vihreyden määrää ihmisen näkökulmasta katutasolta (Yang ym., 2009). Satelliittikuvista mitatun ja ihmisen katukuvasta havainnoiman vihreyden välillä onkin todettu olevan eroja (Leslie, Sugiyama, Ierodionou, & Kremer, 2010; Lu, Yang, Sun, & Gou, 2019).

Tarkasteltaessa vihreyttä katutasolla, erityisesti kasvillisuuden kolmiulotteisuus tulee paremmin esille. Vihernäkymä ottaakin huomioon kaupunkikasvillisuuden vertikaalisen määrän, kun taas perinteiset mittarit, kuten NDVI kuvaavat kaupunkikasvillisuuden rakennetta ylhäältä käsin ja käsittelevät kasvillisuutta horisontaalisena rasteripintana (Lu ym., 2019; Yang ym., 2009). Tästä syystä vihernäkymän on todettu korreloivan positiivisesti erityisesti puiden ja muun vertikaalisen kasvillisuuden kanssa. Toisaalta taas matalan kasvillisuuden on todettu vaikuttavan heikommin vihernäkymään (Li, Zhang, Li, Ricard, ym., 2015; Yang ym., 2009). Myös ylöspäin näkymätön kasvillisuus, kuten siltojen alapuoleinen kasvillisuus tai kasvillisuuden peittämät talojen seinät tulevat huomioiduiksi katunäkymäkuvia käytettäessä (Li, Zhang, Li, Ricard, ym., 2015). Viherindeksi on myös varsin ymmärrettävä mittari, sillä se kertoo kadulla kävelevän ihmisen ympärillään havainnoiman vihreyden määrän yhtenä prosenttilukuna (Seiferling, Naik, Ratti, & Proulx, 2017).

2.3.3 Vihernäkymä tutkimuksessa

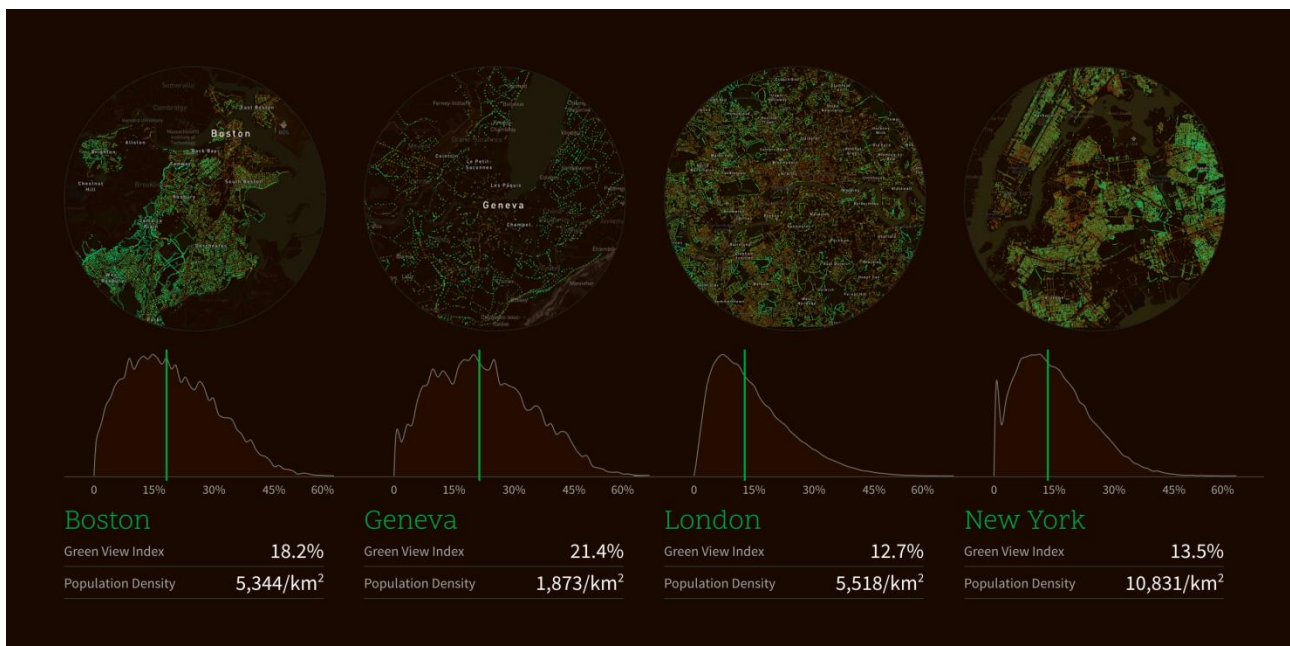
Monet kaupunkivihreyttä ja sen vaikutuksia käsittelevät tutkimukset keskittyvät yhtenäisten viheralueiden, kuten puistojen ja niiden vaikutusalueiden tutkimiseen. Esimerkiksi useissa kaupunkivihreyden terveysvaikutuksia käsittelevissä tutkimuksissa, kaupunkivihreyden saavutettavuutta on käsitelty vain etäisyytenä lähimpään puistoon tai virkistysalueeseen (Kaczynski & Henderson, 2007). Ihmiset kuitenkin liikkuvat pääosan ajastaan muualla kuin puistoissa. Puistoihin mennään usein vain jotain tiettyä tarkoitusta, kuten lenkkeilyä varten. Näin ollen; olennaista olisikin havainnoida vihreyden määrää siinä ympäristössä, jossa ihmiset oikeasti liikkuvat ison osan ajastaan, eli kaduilla.

Viherindeksin ja katunäkymäkuvien avulla on mahdollista tuottaa tietoa ihmisten päivittäisten reittien vihreydestä. Useissa Hong Kongissa tehdyissä tutkimuksissa on tutkittu GSV-kuvista määritetyn vihernäkymän ja ihmisten liikuntatottumusten välisiä yhteyksiä. Tulokset tukevat vahvasti aikaisempien tutkimusten tuloksia kaupunkivihreyden ja liikunnan yhteydestä. Korkeampien vihernäkymien todettiin kasvattavan sekä pyöräily- ja kävelymatkojen määriä, että pituuksia (Lu, 2018; Lu, Sarkar, & Xiao, 2018; Lu ym., 2019)

Myös asuinalueiden vihernäkymien ja tulotasojen välisiä yhteyksiä on tarkasteltu. Yhdysvaltojen Hartfordissa tehdyssä tutkimuksessa tiettyjen etnisten vähemmistöjen ja pienituloisten väestöryhmien on todettu elävän vähemmän vihreillä alueilla kuin varakkaampien väestöryhmien (Li, Zhang, Li, & Kuzovkina, 2016; Li, Zhang, Li, Kuzovkina, & Weiner, 2015). Ihmisten on myös todettu olevan valmiita maksamaan enemmän asunnoista, joiden lähiympäristössä on korkeita vihernäkymäarvoja (Y. Zhang &

Dong, 2018). Korkeilla vihernäkymäarvoilla on myös todettu olevan positiivisia yhteyksiä ihmisten turvallisuuden tunteeseen (Li, Zhang, & Li, 2015).

Vihernäkymää on käytetty myös kaupunkien väliseen vertailuun. Massachusettsin teknillisen instituution, Senseable City Lab –tutkimusryhmä on koonnut ja visualisoinnut Treepedia-nimiselle verkkosivustolle kaupunkien vihernäkymäkartoja eri puolilta maailmaa (Kuva 1). Sivusto sisältää tällä hetkellä n. 27 eri kaupungin vihernäkymäkartat (MIT Senseable City Lab, 2019). Jotta kuka tahansa voisi osallistua karttakirjaston kartuttamiseen, tutkimusryhmä on luovuttanut GVI-arvojen laskennassa ja GSV-kuvien latauksessa käyttämänsä menetelmät avoimeen käyttöön. Myös tässä tutkimuksessa laskettava Helsingin vihernäkymäaineisto tullaan jakamaan Treepedia-verkkosivulla.

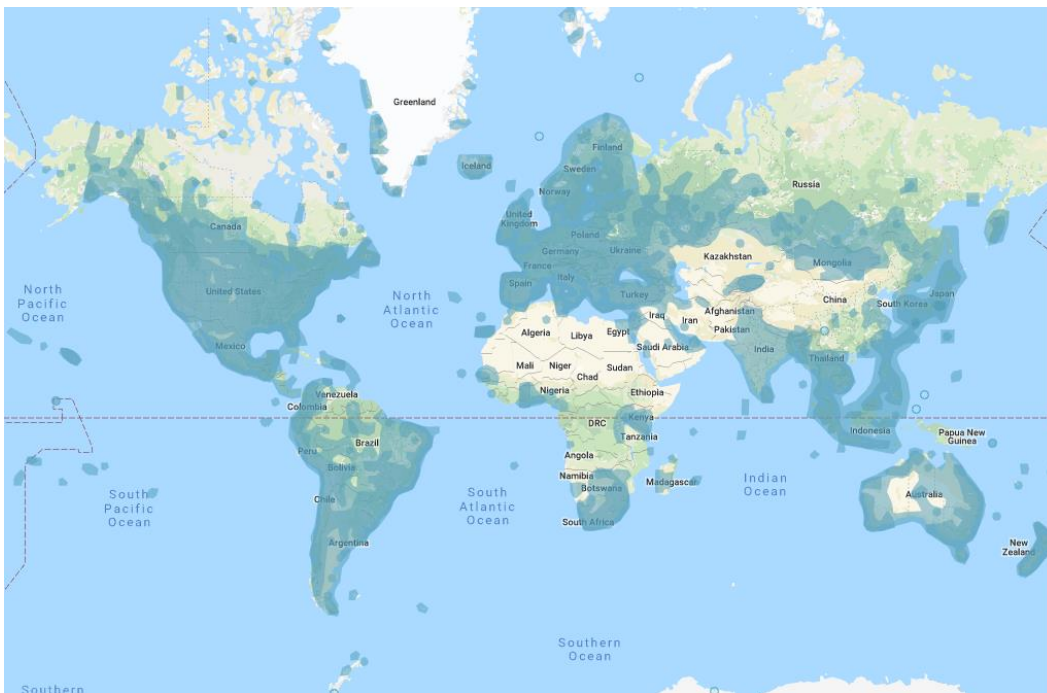


Kuva 1. Neljän eri kaupungin vihernäkymien vertailua Treepedia-verkkosivustolla. Vihreät viivat histogrammeissa merkitsevät kaupungin viherindeksin mediaania. Mediaani on myös ilmoitettu prosenttilukuna histogrammin alla. (MIT Senseable City Lab, 2019).

2.4 Katunäkymäkuvat ja niiden lähteet

Katunäkymäkuvat kuvaavat katutilaa maanpinnalta tarkasteltuna. Sijaintitiedolla varustettua katunäkymäkuvaa voidaan käsitellä tutkimuksessa muiden paikkatietoaineistojen tavoin. Katunäkymien käyttöä tutkimuksessa on aikaisemmin hidastanut niiden vaikea saatavuus. Nykyisin kuvia on kuitenkin saatavilla eri toimijoilta ja varsin hyvällä spatiaalisella kattavuudella. Suurin katunäkymäkuvien tuottaja on hakukoneyhtiö Google, joka on julkaissut sijainti- ja osoitetiedolla varustettua katunäkymäkuvaa vuodesta 2007. Kiinassa GSV:tä vastaavia palveluita tuottavat yhtiöt Baidu ja Tencent (Liang ym., 2017). Näiden yhtiöiden tuottamat katunäkymäkuvat ovat toimintaperiaatteiltaan ja keräystavoiltaan hyvin samanlaisia kuin GSV-kuvat.

Google aloitti kuvaukset Yhdysvalloista, josta ne nopeasti levisivät muualle maailmaan. Varhaisimmat GSV-kuvat esimerkiksi Helsingistä ovat jo kesältä 2009. Nykyisin GSV-kuvia on saatavilla kaikista maanosista ja yli 60:stä eri maasta (Anguelov ym., 2010). Pääosa Googlen kuvauksista on suoritettu auton katolle kiinnitetyillä kameroilla, jotka tuottavat 360 asteen laajakuvan katunäkymästä. Osassa kuvauksia valokuvien lisäksi on kerätty myös videota, sekä laserkeilausaineistoa (Anguelov ym., 2010). Googlen kuvausryhmä on kiinnittänyt kameroita myös moottorikelkkoihin, skoottereihin, selkäreppuihin ja polkupyöriin (Google, 2019b). Nykyisin Google hyödyntää myös käyttäjien keräämää aineistoa katunäkymistä. Käyttäjälle yksinkertaisin tapa osallistua aineiston keruuseen on ladata Google Street View -sovellus ja jakaa kännykkäkameralla otettuja panoraamakuvia sovelluksen kautta. Google myös myy ja lainaa pienempiä 360 asteen kuvaukseen soveltuvia kameroita käyttäjilleen. Tällaisen kamerasen käyttäjä voi kiinnittää vaikkapa oman autonsa katolle (Google, 2019b).



Kuva 2. Kartta Googlen katunäkymäkuvien maailmanlaajuisesta kattavuudesta (Google, 2019b). Mercatorin projektion käyttö esityksessä saa napoja lähellä olevat alueet näyttämään todellisuutta suuremmilta.

GSV-kuvat ovat siis 360 astetta kattavia panoraamakuvia. Panoraamakuva muodostetaan erillisistä eri suuntiin otetuista kuvista perustuen kuvien väliin yhteneväisyyksiin. Jotta kuvat voitaisiin yhdistää, on niiden välisen peittävyys oltava tarpeeksi suuri (Kauhanen & Rönholm, 2012). Kuvat ovat RGB-kuvia (Red, Green, Blue) eli värikuvia, joka sisältävät punaisen, vihreän ja sinisen aallonpituuden kanavat (Li, Zhang, Li, Ricard, ym., 2015). Kuvien radiometrinen resoluutio on 8 bittiä eli pikseleiden kirkkausarvo jokaisella kanavalla vaihtelee välillä 0-255. Näin kuvan eri kanavien kirkkausarvoista voidaan muodostaa 16 777 216 eri kirkkausarvojen yhdistelmää (Jensen, 1996). Kuvien spatiaalinen resoluutio vaihtelee kuvien ottoajankohdasta riippuen. Kameratekniikan kehityksen myötä, uusimpien kuvien resoluutio on selvästi ensimmäisiä kuvia parempi (Anguelov ym., 2010). Kuvat sisältävät sijaintitiedon lisäksi merkinnät kuvan ottoajasta kuukauden tarkkuudella, sekä panoraaman yksilöidystä tunnuksesta. GSV-kuvia on mahdollista tarkastella verkkoselaimessa sekä ladata Googlen ohjelmointirajapinnasta (Google, 2009a).

2.5 Katunäkymäkuvat tutkimuksessa

Eri toimijoiden tuottamien katunäkymäkuvien yleistessä ympäri maailmaa, niistä on tullut potentiaalinen aineisto myös tutkimuskäyttöön. Yksinkertaisin tapa käyttää katunäkymäkuvia on tutkittavan asian visuaalinen tarkastelu esimerkiksi GSV-kuvista suoraan verkkoselaimessa. Tällaista lähestymistapaa on käytetty muun muassa kasvillisuuden laadun (Lu, 2018), katujen käveltävyyden (Räty, Toivonen, Hyypä, & Julin, 2017), sekä naapurustojen viihtyisyyden arvioinnissa (Rundle, Bader, Richards, Neckerman, & Teitler, 2011). Teknisesti kehittyneemmällä menetelmällä katunäkymäkuvista on laskettu muun muassa kasvillisuuden (Li, Zhang, Li, Ricard, ym., 2015), jalankulkijoiden (Yin, Cheng, Wang, & Shao, 2015), ja näkyvän taivaan määriä katukuvassa (Carrasco-Hernandez, Smedley ja Webb, 2015; Yin ja Wang, 2016; Gong, Zeng, Ng, ym., 2019).

Katunäkymäkuvilla on kuitenkin rajoituksensa aineistolähteenä. Merkittävä käyttöä rajoittava tekijä on niiden spatiaalisesti epätasainen kattavuus. Esimerkiksi GSV-kuvapalvelussa ylliedustettuina ovat länsimaat ja erityisesti suuret kaupungit (Kuva 2). Spatiaalisessa kattavuudessa voi olla myös kaupunkien sisäisiä eroja, riippuen siitä missä kuvausauto tai muu alusta on käynyt. Vaikka esimerkiksi GSV on nykyään saatavilla muun muassa kuulusilta vaellusreiteiltä ja nähtävyyksiltä, rajoittuu aineisto pääasiassa autoteihin (Li, Zhang, Li, Ricard, ym., 2015).

Myös ajalliset erot kuvien välillä rajoittavat käyttömahdollisuuksia. Esimerkiksi saman kadun kaksi viereistä panoraamaa voivat olla peräisin eri vuodenaajoilta tai jopa eri vuosilta. Suurempien alueiden sisällä ajalliset vaihtelut voivat olla suuriakin. Ajalliset erot vääristävät esimerkiksi eri kuvien välillä tehtyjä vertailuja tai voivat antaa vanhentunutta tietoa alueesta (Li, Zhang, Li, Ricard, ym., 2015). Useimpia katunäkymäkuvia ei ole myöskään kerätty tieteellisiin tarkoituksiin. Näin ollen panoraamakuviissa voi olla esimerkiksi geometrisiä virheitä, jotka voivat vaikuttaa mahdollisten mittaustulosten tarkkuuteen (Li ym., 2017; Richards & Edwards, 2017). Staattisten katunäkymäkuvien käyttö dynaamisen ympäristön kuvaamisessa ei myöskään ole virheetöntä. Jatkuvasti muuttuvan tilan eri tekijät, kuten liikenne tai sää voivat vaikuttaa tuloksiin (Li, Zhang, Li, Ricard, ym., 2015).

Edellä mainitut rajoitukset huomioon ottaen, katunäkymäkuvat voivat kuitenkin olla todella hyödyllinen aineistolähde tutkimuksessa. Li, Zhang, Li, Kuzovkina, ym. (2015) toteavat GSV-kuvien vahvuuksiksi niiden ilmaisen käytön, sekä nopean ja helpon prosessoinnin. Erityisen käyttökelpoisia ne voivat olla esimerkiksi alueilla, joilla korkean resoluution kaukokartoitusdataa ei ole saatavilla tai se on liian kallista. Esimerkiksi trooppisten maiden suurkaupungeissa, joissa kasvillisuutta ei ole inventoitu lainkaan ja tutkimusta on hyvin vähän, katunäkymäkuvien kautta tehtävä kartoitus voi olla yksi ainoista saatavilla olevista menetelmistä (Richards & Edwards, 2017). Myös katunäkymäkuvien kautta tapahtuvan visuaalisen tarkastelun on todettu olevan nopeampi, halvempi ja turvallisempi menetelmä verrattuna kentällä suoritettuihin tarkasteluihin. Virtuaalisia tarkasteluita voidaan myös suorittaa vuodenajasta, vuorokaudenajasta tai säästä riippumatta (Berland & Lange, 2017).

2.6 Vihernäkymien tulkintaa katunäkymäkuvista

2.6.1 Manuaalinen kuvatulkinta

Ensimmäisen tutkimuksen vihernäkymän kartoituksesta julkaisi Yang ym. (2009). Aineistona toimivat manuaalisesti neljään eri ilmansuuntaan otetut valokuvat tutkimusalueen katujen risteyksistä. Tutkimuksessa esiteltiin ensimmäistä kertaa vihernäkymän määrää kuvaava indeksiluku GVI. Tutkimuksessa ei käytetty automaattista kuvatulkintaa, vaan vihreä kasvillisuus eroteltiin kuvista manuaalisesti. Kuvasta eroteltujen kasvillisuuspikseleiden määrä suhteutettiin koko kuvan pikseleiden määrään, jolloin saatiin yhden kuvan GVI-arvo. Yhden risteysalueen laskennallinen GVI on neljän kuvan keskiarvo.

Manuaalinen kasvillisuuden tulkinta katunäkymäkuvilta todettiin aikaa vieväksi, mutta toimivaksi tavaksi tuoda ihmisen näkökulma kaupunkivihreyden suhteellisen määrän tarkasteluun (Yang ym., 2009). Manuaalista kuvatulkintaa käytetään edelleen automaattisten kuvantulkintamenetelmien validointikeinona. Myös metodi, jossa yhden sijainnin GVI-arvo on panoraamaan muodostamien kuvien GVI-keskiarvo, omaksuttiin sitä seuranneissa tutkimuksissa.

2.6.2 Pikselipohjaiset menetelmät

Koska katunäkymäkuva-aineistot ovat usein suuria, sovelletaan niiden tulkinnassa usein automatisoitua luokittelua. Luokittelussa katunäkymäkuvan pikselit jaetaan temaattisiin luokkiin. Luokat ja niiden määrä riippuvat siitä, minkälaista informaatiota katunäkymäkuvista halutaan saada. Yksinkertaisimmillaan luokittelu perustuu kuvan pikseleiden kirkkausarvoihin eri aallonpituusalueilla, eli pikseleiden spektraalisiin ominaisuuksiin. Niin sanotussa pikselipohjaisessa luokittelussa kuvan jokainen pikseli luokitellaan määritettyihin luokkiin (Jensen, 2000).

Pikselipohjaista, ohjattua luokittelua käytettiin Yang ym.(2009) GVI- menetelmän automatisointiin (Li, Zhang, Li, Ricard, ym., 2015). Aineistona toimi kolmesataa Googlen ohjelmointirajapinnasta ladattua GSV-panoraamakuva. Jokainen panoraama ladattiin 18:sta osassa, kuusi vertikaalista suuntaa ja kolme horisontaalista suuntaa mukaan lukien. Näin saatiin Yangin käyttämää neljän kuvan tekniikkaa kokonaisvaltaisempi katunäkymä jokaiselta sijainnilta. Myös GVI:n laskeminen automatisoitiin. Jokaisen kuvan pikselit luokiteltiin kahteen luokkaan: kasvillisuuteen ja ei-kasvillisuuteen. Luokittelu perustui kasvillisuuden havaittuihin kirkkausarvoihin kolmella eri aallonpituusalueella. Käytetyllä luokittelumenetelmällä päästiin varsin hyviin tuloksiin. Menetelmä validoitiin vertailemalla kuvia, jotka olivat luokiteltu automaattisella luokittelulla ja manuaalisesti.

Myös Long and Liu (2017) ja Dong ym. (2018) sovelsivat pikselipohjaista luokittelua kartoittaessaan Pekingin ja muiden kiinalaisten kaupunkien vihernäkymiä. Koska GSV-kuvien saatavuus Kiinasta on varsin heikko, tutkijat käyttivät Tencent Street View (TSV) -kuvia GSV-kuvien sijasta. Molemmissa tutkimuksissa käytettiin niin kutsuttua HSI-menetelmää, jossa RGB-kuvat muunnettiin HSI kuviksi (Hue, Saturation, Intensity). Vihreät pikselit eroteltiin muista käyttämällä kuvan Hue-arvoille määriteltyjä raja-arvoja. Vertailtaessa sadan TSV-kuvista manuaalisesti ja HSI-menetelmällä laskettuja GVI-arvoja, voitiin menetelmä todeta varsin luotettavaksi $r=0,971$ $p=0,000$ (Dong ym., 2018)

Koska RGB-kuvat sisältävät vain kolme kanavaa näkyvän valon aallonpituusalueilta, ovat pikselipohjaisen luokittelun mahdollisuudet rajalliset. Kasvillisuuden kaukokartoituksessa yleisesti käytetyissä multi- ja hyperspektrikuviissa kasvillisuus voidaan erottaa helposti perustuen sen spektraalisiin ominaisuuksiin lähi-infrapuna- alueen kanavilla (Jensen, 2000). RGB-kuvissa kasvillisuuden erottaminen muista vihreistä objekteista on kuitenkin vaikeampaa. Tästä syystä usein myös vihreät katukyltit, autot ja rakennukset luokittelevat kasvillisuudeksi (Li, Zhang, Li, Ricard, ym., 2015).

Pikselipohjaisten luokitusmenetelmien ongelma on myös se, etteivät ne ota huomioon pikselin ympäristön kontekstia. Luokitus perustuu oletukseen, että kaikki samaan luokkaan kuuluvat pikselit olisivat kirkkausarvoiltaan samanlaisia. Näin ei kuitenkaan todellisuudessa ole, vaan esimerkiksi samaa kasvin osaa kuvaavien pikseleiden kirkkausarvot voivat olla hyvin erilaiset riippuen siitä, onko kyseinen pikseli varjossa vai valossa (Jensen, 1996). Pikselipohjaisen luokittelumenetelmän on havaittu tuottavan myös yksittäisiä, kasvillisuudeksi luokiteltuneita hajapikseleitä esimerkiksi talojen ikkunoista. (Li, Zhang, Li, Ricard, ym., 2015).

2.6.3 Segmentointi luokittelun apuna

Pikselipohjaisen luokittelun virheitä voidaan vähentää segmentoinnilla. Segmentoinnilla tarkoitetaan pikseleiden yhdistämistä todellisuutta vastaaviksi, spektraalisten ja spatiaalisten ominaisuuksiensa suhteen homogeenisiksi kokonaisuuksiksi (Cheng, 1995). Näin saadaan vähennettyä mahdollisen kohinan määrää esimerkiksi puiden lehvästöissä, joissa on paljon varjoja. Myös virheellisesti luokiteltuneiden hajapikseleiden määrä vähenee (Li, Zhang, Li, Kuzovkina, ym., 2015).

Mean shift -algoritmi on esimerkki segmentointimenetelmästä, joka perustuu pikseleiden kirkkausarvoihin ja pikseleiden naapurisuhteisiin. Algoritmile syötetään parametrit, joilla määritellään pikselin naapureiden etsintäsäde, maksimi naapuripikselin kirkkausarvon poikkeavuus, sekä pienimmän mahdollisen segmentointituloksen koko. Perustuen annettuihin parametreihin, jokaiselle pikselille määritellään joukko naapuripikseleitä. Tälle naapurijoukolle lasketaan spatiaalinen keskiarvo ja kirkkausarvo keskiarvo. Seuraavalla iteraatiolla nämä keskiarvot toimivat yhdistettyjen pikseleiden sijainti- ja kirkkausarvoina. Iteraatio jatkuu, kunnes sijainti- ja kirkkausarvot eivät enää muutu. Syntyneet pikseliryhmät saavat arvoikseen viimeisen iteraation sijainti- ja kirkkauskeskiarvot (Cheng, 1995).

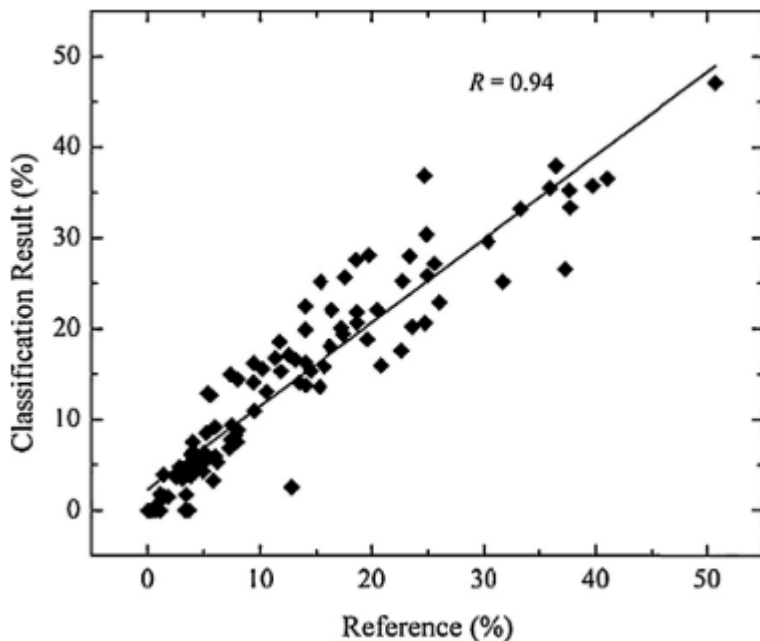
Li, Zhang, Li, Kuzovkina, ym. (2015) parantelivat GVI:n laskentamenetelmäänsä tutkimuksessaan vihernäkymän ja tulotasojen välisestä yhteydestä. Edellisessä tutkimuksessa havaitun pikselipohjaisen luokittelun aiheuttamia virheitä pyrittiin vähentämään segmentoimalla kuva ennen pikselipohjaista luokittelua. Segmentoinnissa käytettiin Mean shift -algoritmia. Tutkijat nimittivät menetelmää objektipohjaiseksi luokitteluksi.

ExG on yleisesti käytetty kasvillisuusindeksi, kun käytössä ovat vain näkyvän valon kanavat. Kasvillisuusindeksin laskukaava on muotoa: $ExG = (G-R) + (G-B)$, jossa R, G ja B ovat punaisen, vihreän ja sinisen kanavan normalisoituja arvoja (Ponti, 2013). Otsun metodologia käytetään erottamaan ExG-kuvan vihreä kasvillisuus taustastaan. Algoritmi jakaa kuvan pikselit kahteen luokkaan perustuen niiden kirkkausarvoihin ja etsii parhaan mahdollisen raja-arvon näiden kahden luokan välille. Raja-arvo optimoidaan niin, että väärin

luokittuneita pikseleitä olisi mahdollisimman vähän ja näin ollen varianssi mahdollisimman pieni (Otsu, 1979).

Li, Zhang, and Li (2015) kehittivät objektipohjaista luokittelua hyödyntäen ExG-kasvillisuusindeksiä (Ponti, 2013) ja Otsun raja-arvon määrittämenetelmää (Otsu, 1979) tutkiessaan vihernäkymän yhteyttä ihmisten turvallisuudentunteeseen. Li ym. (2016) puolestaan yhdistelivät aikaisempaa pikseleiden kirkkausarvoihin pohjautuvaa luokittelumenetelmää, sekä ExG-kasvillisuusindeksin käyttöä uudemmassa tutkimuksessaan vihernäkymän ja tulotasojen välisestä yhteydestä.

Objektipohjaista luokittelua on edellä mainittujen tutkimusten lisäksi käytetty tutkimuksissa katuvihreyden vaikutuksesta ihmisten fyysiseen aktiivisuuteen (Lu, 2018), sekä katupuiden ekosysteemipalveluiden kartoittamiseen Singaporessa (Richards & Edwards, 2017). Menetelmä on todettu varsin toimivaksi manuaalisesti tehtyjen validointien kautta (Kuva 3).



Kuva 3. Hajontakaavio GSV-kuvista lasketuista vihernäkymistä, jossa objektipohjaisen luokittelun tuloksia vertaillaan manuaalisesti luokiteltuihin kuviin (Li, Zhang, Li, Kuzovkina, ym., 2015)

2.6.4 Syväoppiminen vihernäkymän laskemisessa

Koska ainoastaan pikseleiden kirkkausarvoihin ja värisävyihin perustuvat menetelmät ovat varsin herkkiä muun muassa varjojen ja muiden vihreiden objektien aiheuttamille virheille, viimeaikaiset tutkimukset ovat hyödyntäneet syväoppimiseen perustuvia kuvatulkintamenetelmiä myös vihernäkymän kartoituksessa.

Syväoppimista voidaan käyttää muun muassa kuvien segmentointiin, sekä automaattiseen luokitteluun (LeCun, Bengio, & Hinton, 2015). Luokittelu perustuu algoritmille syötettyihin tuhansien kuvien koulutuspaketteihin. Koulutuspakettien sisältö riippuu siitä, minkälaisen ympäristön objekteja algoritmin

halutaan pystyvän tunnistamaan. Koulutuspakettien sisältämät kuvat ovat valmiiksi luokiteltuja esimerkiksi luokkiin auto, maa, taivas, puu ja jalankulkija. Näin algoritmi voidaan opettaa tunnistamaan vaikkapa puita mitä erilaisimmissa ympäristöissä. Verrattuna perinteisiin menetelmiin, syväoppimista hyödyntävällä kuvasegmentoinnilla saavutetaan huomattavasti lyhyempi prosessointiaika, sekä tarkempia tuloksia. Etuna on esimerkiksi menetelmän kyky erotella kasvillisuus muista vihreistä objekteista (Yang Cai, Li, Seiferling, & Ratti, 2018)

Liang ym. (2017) ja Zhang and Dong (2018) hyödynsivät vihernäkymää käsittelevissä tutkimuksissaan SegNet-syväoppimisalgoritmia, joka on suunniteltu RGB-kuvien semanttiseen segmentointiin. SegNet segmentoi katunäkymäkuvat todellisuutta merkitseviin luokkiin, kuten taivas, rakennukset, autot ja puut perustuen sille syötettyyn segmentoituun opetusaineistoon (Badrinarayanan, Kendall, & Cipolla, 2017). Gong, Zeng, Zhang, ym. (2018) puolestaan käyttivät Pyramid Scene Parsing Net (PSPNet)-luokittelualgoritmiä kartoittaessaan rakennusten, puiden ja taivaan osuuksia Hong Kongin katunäkymäkuvista.

Syväoppimista hyödyntävän luokittelualgoritmin segmentoimasta kuvasta, vihernäkymä voidaan laskea varsin helposti huomioimalla vain ne pikselit, jotka ovat luokituneet puiksi ja muuksi kasvillisuudeksi (Y. Zhang & Dong, 2018). SegNet ja PSPNet ovatkin todettu varsin luotettaviksi menetelmiksi vihernäkymän tunnistamisessa. Esimerkiksi Dong ym. (2018) vertaili sadan TSV-kuvan manuaalisesti laskettua vihernäkymää SegNet-segmentoinnilla saatuihin tuloksiin. Muuttujien välillä vallitsi merkitsevä positiivinen korrelaatio $r = 0,992$ $p = 0,000$.

3 Aineisto ja menetelmät

3.1 Tutkimusalueena Helsinki

Helsinki on sitä ympäröivän metropolialueen ja koko Suomen hallinnollinen keskus (Helminen ym., 2014) Kasvava väestöpaine ja muuttuva kaupunkirakenne asettavat haasteita myös viheralueille (Tegel, 2009; Vuori ja Kaaslia, 2018). Tässä kappaleessa kuvaillaan Helsinkiä, sen rakennetta, sekä monimuotoisia viherympäristöjä. Kaupungin rakenteellisten osien esittelyjen yhteydessä esitetään myös esimerkkejä Googlen katunäkymäkuvista eri alueilta. Esimerkkinäkymien sijainnit on merkitty oheiseen maankäyttökarttaan (Kuva 4).



Kuva 4. Helsingin maankäyttöalueet, liikenneväylät, sekä esimerkinäkymien sijainnit. Taustakartan lähteet: (KYMP, 2018b; Liikennevirasto, 2018)

Helsinki voidaan yhteiskuntarakenteellisesti jakaa karkeasti viiteen luokkaan; ydinkeskustaan, kantakaupunkiin, pienempiin lähi- ja liikekeskuksiin, toimitila-alueisiin, sekä asuntovaltaisii alueisiin (Helsingin kaupunkisuunnitteluvirasto, 2016). Helsingin ytimen muodostaa Helsingin niemellä sijaitseva liike- ja palvelukeskus, jota ympäröi kantakaupunki. Kantakaupungin ja ydinkeskustan raja on usein häilyvä, ja esimerkiksi yleiskaavassa kantakaupunki jatkuu vielä ulommas keskustasta tärkeimpiä liikenneväyliä seuraillen. Tässä työssä viittauksilla ydinkeskustaan tai kantakaupunkiin tarkoitetaan kuitenkin katkoviivoilla rajattuja alueita (Kuva 4).

Helsingin ydinkeskusta ja iso osa kantakaupunkia on rakennettu pääosin 1800- ja 1900-lukujen taitteessa. Rakennuskanta on paikoin edelleen alkuperäistä ja talot muodostavat usein umpikortteleita (Tikka, Lappalainen, & Järvinen, 2015). Kantakaupunkia ja ydinkeskustaa luonnehtivat suuri asukastiheys, sekä huomattava palveluiden, yritysten ja hallintoelinten määrä. Kantakaupungin alueella on palveluiden lisäksi myös ydinkeskustaa enemmän asumispinta-alaa (Helsingin kaupunkisuunnitteluvirasto, 2016). Vihreyttä kantakaupunkiin ja ydinkeskustaan tuovat useat historialliset puistot, sekä kaupunkipuiden reunustamat bulevardit (Kuva 5 B) (Helsingin kaupunkisuunnitteluvirasto, 2016; Tegel, 2009a). Myös vanhojen kaupunginosien sisäpihat ovat tärkeä osa kantakaupungin kaupunkivihreyttä (Tikka ym., 2015).



Kuva 5. GSV-näkymät A) Helsingin rautatieasemalta ja B) Bulevardilta (Google, 2019b).

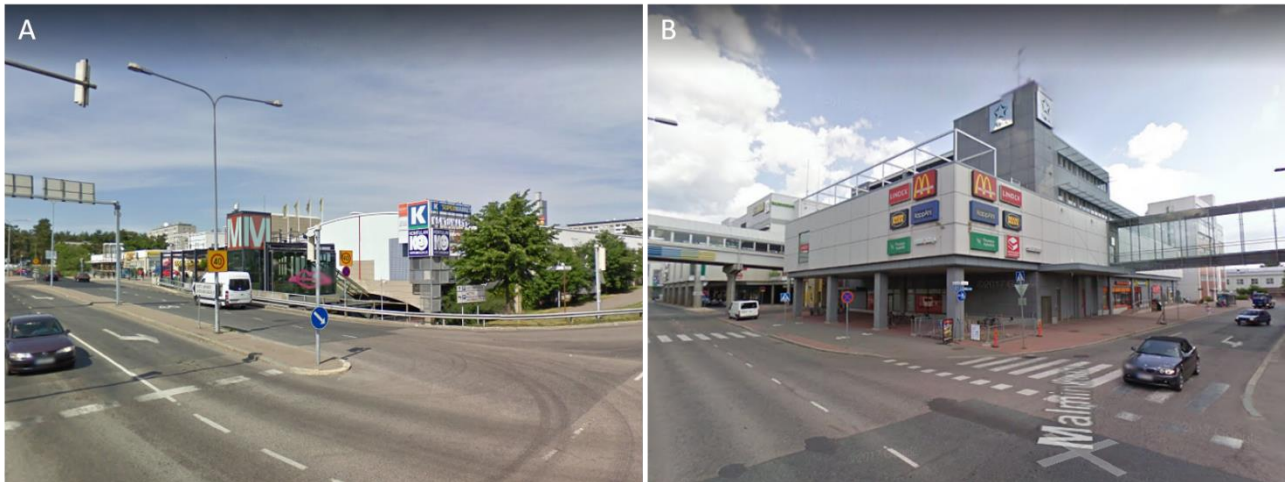
Keskustan ulkopuolella levittäytyvät asuntovaltaiset alueet, jotka vaihtelevat väljemmistä omakotitaloalueista (Kuva 6A) tiiviimpiin kerrostaloalueisiin (Kuva 6B). Asuinalueiden viheralueet koostuvat hoidetuista puistoista, rakennusten väliin jääneistä metsäsaarekkeista, sekä kaupungin ylläpitämistä virkistysalueista (Helsingin kaupunkisuunnitteluvirasto, 2016). Asuntovaltaisilla alueilla myös piha-alueiden istutukset, nurmikat ja pihapuut ovat olennainen osa asuinalueiden vihreyttä (Vierikko, Salminen, Niemelä, Jalkanen, & Tamminen, 2014).



Kuva 6. GSV-näkymät asuntovaltaisilta alueilta A) omakotitaloaluetta Pakilasta ja B) kerrostaloaluetta Pohjois-Haagassa (Google, 2019b).

Asuntovaltaisia alueita täplittävät liikenteen solmukohtiin sijoittuneet lähikeskukset ja niitä hieman suuremmat liikekeskukset. Ydinkeskustan lisäksi tärkeimpiä liikekeskuksia Helsingissä ovat Malmi (Kuva 7 B), Itäkeskus, Herttoniemi ja Kannelmäki. Pienempiä lähikeskuksia ovat esimerkiksi Konala, Maunula, Pukinmäki ja Mellunmäki (Kuva 7 A). Lähi- ja liikekeskuksissa on ympäröivää asutusaluetta selvästi enemmän asukkaita, työpaikkoja ja palveluita. Ne muistuttavatkin rakenteeltaan enemmän kantakaupunkia.

Kuten kantakaupungissa, lähikeskusten viheralueet ovat usein rakennettuja puistoalueita sekä kadunvarsien puita ja istutuksia (Helsingin kaupunkisuunnitteluvirasto, 2016).



Kuva 7 GSV-näkymät lähikeskuksista. A) Mellunmäki ja B) Malmi (Google, 2019b).

Maankäyttökartassa ruskealla merkityt alueet ovat toimitila-, teollisuus- ja satama-alueita (Kuva 4). Nämä alueet ovat Helsingin yrityskeskittymiä ja syntyneet hyvien liikenneyhteyksien varsin. Kantakaupungin lisäksi tärkeimmät työpaikkakeskittymät Helsingissä ovat Pitäjänmäen yritysalue sekä Herttoniemi-Roihupelto -yritysalue. Muita yritysalueita ovat esimerkiksi Konala, Suutarila ja Tattariharju (Helsingin kaupunkisuunnitteluvirasto, 2016). Teollisuusalueilla on tyypillisesti asuinalueita vähemmän viheralueita ja kasvillisuutta. Nämä alueet ovat suunniteltu usein toiminnalliselta näkökannalta eikä kasvillisuudelle ole ollut tarvetta (Richards ja Edvards 2017).



Kuva 8. GSV-näkymät Helsingin tärkeimmiltä toimitila-alueilta. A) Roihupelto ja B) Pitäjänmäki (Google, 2019b).

Maankäyttökartan viheralueita tarkasteltaessa voidaan selvästi erottaa asuinalueiden läpi kohti merta työntyvät ”vihersormet”, joita ovat Länsipuisto, Keskuspuisto (Kuva 9A), Helsingipuisto (Kuva 9B), Viikki-

Kivikon puisto, Itä-Helsingin kulttuuripuisto ja Vuosaaren ulkoilupuisto (Kuva 4). Näihin viheralueiden kokonaisuuksiin kuuluu erilaisia virkistysalueita, suojelualueita sekä myös kulttuurihistoriallisesti merkittäviä kohteita, kuten vanhat kartanopuistot. Helsingin vihersormia pyritään suunnittelussa yhdistämään toisiinsa muiden viheralueiden, kuten lähipuistojen, kaupunginpuistojen ja ulkoliikunta-alueiden verkostolla. Myös Helsingin suuret merenlahdet, kuten Laajalahti (Kuva 10 A), Vanhankaupunginlahti sekä Kallahdenselkä saarineen ovat tärkeitä virkistysalueita (Helsingin kaupunkisuunnitteluvirasto, 2016).



Kuva 9. GSV-näkymät Helsingin "vihersormilta" A) Keskuspuistosta Ruskeasuon kohdalla ja B) Helsingipuistosta Vantaanjoen varrelta (Google, 2019b).



Kuva 10. GSV-näkymät Helsingin rannoilta A) Laajalahden rannalta Munkkiniemestä ja B) Katajanokan rantapuistosta. (Google, 2019b).

3.2 Aineistot

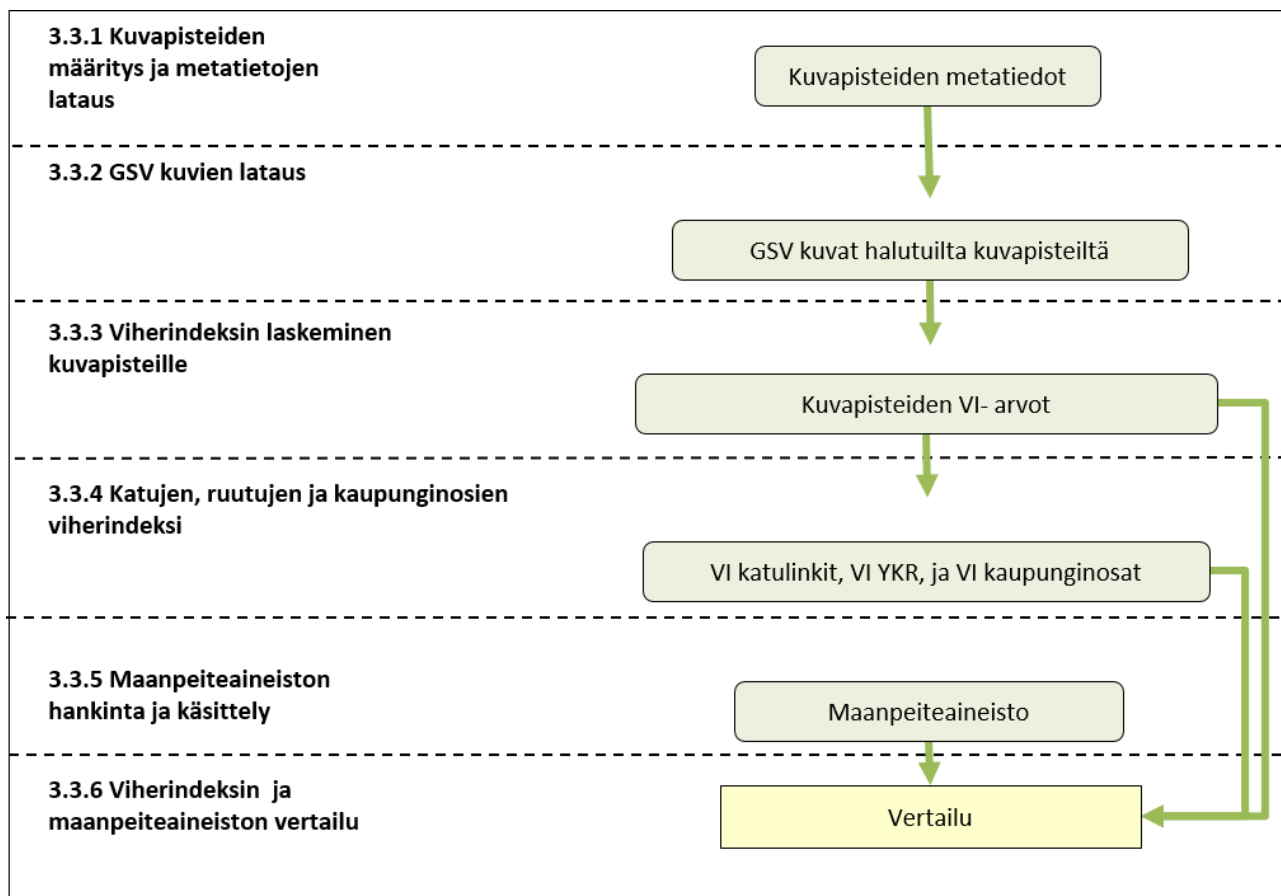
Tässä työssä käytetyt aineistot on esitelty oheisessa taulukossa. Taulukossa kerrotaan myös aineistojen käyttötarkoitus, sekä niiden lähteet (Taulukko 2). Kaikki aineistot on ladattu avoimien aineistojen latauspalveluista tai rajapintapalveluista.

Taulukko 2 Taulukko tutkimuksessa käytetyistä aineistoista.

Aineisto	Kuvaus	Käyttö	Lähde
OpenStreetMap - tieverkko	Koko suomen kattava avoin tieverkko aineisto	Kuvapisteiden määrittäminen	Open street map contributors, 2018
GSV-metadata	GSV katunäkymäkuvien metadata	Kuvapisteiden määrittäminen/ kuvien lataus	Google, 2019a
GSV- katunäkymäkuvat	360 astetta kattavia katunäkymäkuvia, joilla on sijaintitieto	VI-laskenta	Google, 2019a
Helsingin kaupunginosat	Helsingin kaupunginosat vuodelta 2018	VI-arvojen aggregointi	KYMP, 2018a
YKR-ruutujako	Valtakunnallisen tilastoruutuaineiston kanssa yhteensopiva 250m x 250m ruutujako Helsingistä.	VI-arvojen aggregointi	Tilastokeskus, 2019
Digiroad-tieverkko	Kansallinen teiden tietojärjestelmä. Versio K.	VI arvojen aggregointi	Liikennevirasto, 2018
Seudullinen maanpeiteaineisto	Helsingin seudun kuntien maanpeiteaineisto vuodelta 2016	Vertailuaineisto	HSY, 2016
Pääkaupunkiseudun seutukartta 2017	Yleispiirteinen kartta- aineisto pääkaupunkiseudulta	Taustakartta	KYMP 2018b
Helsingin rakennukset	Helsingin yli 10m2 rakennukset	Taustakartta	KYMP, 2019

3.3 Menetelmät

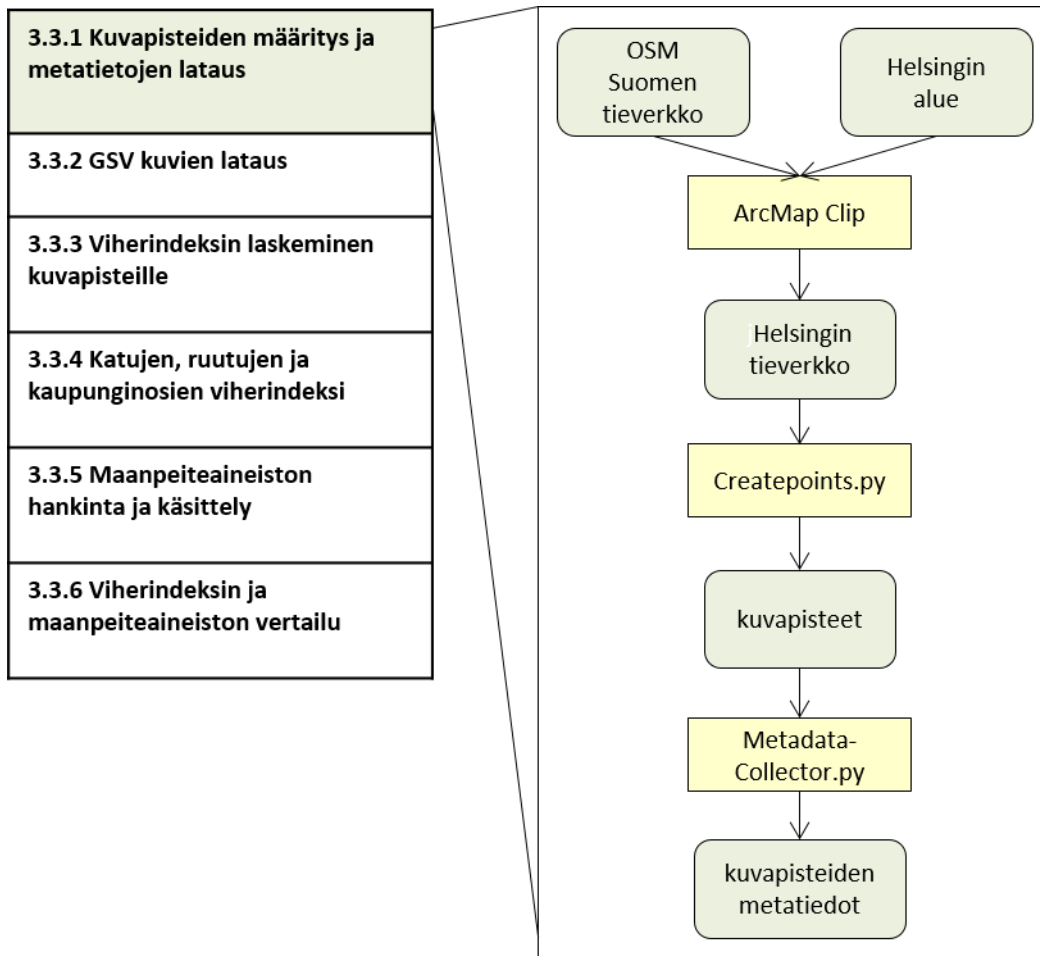
Menetelmäosuus on jaettu kuuteen työvaiheeseen, joista jokainen käsitellään omana kappaleenaan (Kuva 11). Kappaleissa 3.3.1- 3.3.4 käytetyt menetelmät pohjautuvat Massachusettsin teknillisen instituution; Senseable City Lab -tutkimusryhmän avoimiin python skripteihin. Käytettyihin skripteihin viitataan tiedoston nimellä ja ne on jaettu osoitteessa https://github.com/geoporttishare/Helsinki_GreenView.



Kuva 11. Työkaavio menetelmäosion kappaleista.

3.3.1 Kuvapisteiden määritys ja metatietojen lataus.

Kuvapisteiden määritys aloitettiin lataamalla OpenStreetMapin tieverkkoaineisto Suomesta ja leikkaamalla se Helsingin kaupungin rajoilla ArcMap 10.6.1 Clip -työkalulla. Seuraavaksi katuverkko muutettiin pisteiksi niin, että pisteiden väliin jäi korkeintaan 20 metriä. Muutos tehtiin Treepedian CreatePoints.py -työkalulla, joka käyttää vain määritettyjä tieosuuksia (Kuva 12).



Kuva 12. Työkaavio kuvapisteen määrittämisestä ja metatietojen latauksesta.

Tarkoituksena oli jo tässä vaiheessa poissulkea tieosuudet, joilta GSV-kuvia ei löytyisi. Poisluetut tieosuudet olivat moottoritiet, moottoriteiden rampit, kävelytiet ja ratsastusreitit. Moottoritiet jätettiin pois analyysistä, sillä niitä ei ole käytetty muidenkaan Treepedian kaupunkien vihernäkymien kartoituksessa. Moottoriteillä ei myöskään liikuta jalan tai pyöräillen, joten niiden poislukeminen oli luontevaa. Koska jotkin kadut on kuvattu sekä ajoradalta että kävelytieltä, myös kävelytiet poisluettiin. Kävelyteiden poisloku sisälsi myös joidenkin puistojen läpikulkevia reittejä. Tämän ei katsottu olevan ongelma, sillä puistojen tiedetään sisältävän hyvin paljon vihreää ja tutkimuksen tarkoituksena on kartoittaa katujen vihernäkymiä.

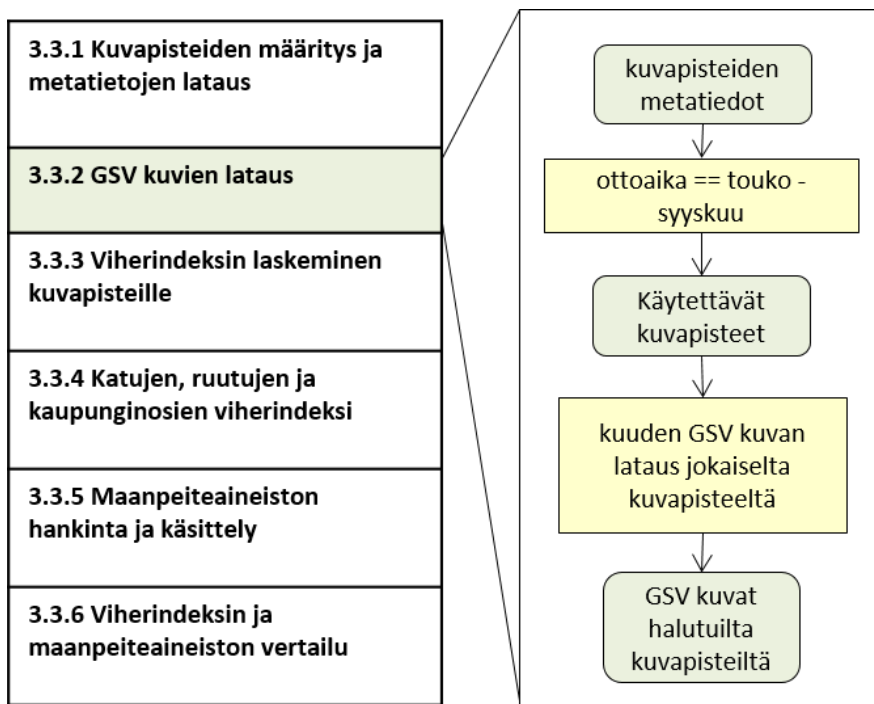
Seuraavaksi selvitettiin, löytyisikö luotujen pisteiden sijainneilta GSV- kuvia. Haku tehtiin käyttämällä Treepedian metadataCollector.py -työkalua. Työkalulle syötetään edellisessä vaiheessa luotu tiedosto, joka sisältää tiedot luotujen kuvapisteen sijainnista. MetadataCollector tarkistaa löytyykö Googlen ohjelmointirajapinnasta kuvapisteen sijaintia vastaavaa panoraamakuvaa. Haettaessa panoraamakuvia koordinaateilla, rajapinta etsii lähimmän kuvan 50 metrin säteellä annetusta pisteestä (Google, 2019a). Jos sijaintia vastaava kuva löytyy, funktio tallentaa kyseisen kuvan metatiedot tekstitiedostoon. Ohjelmointirajapinnasta ladatut kuvapisteen metatiedot sisältävät kuvan yksilöllisen tunnuksen (panoID), kuvan ottoajankohdan kuukauden tarkkuudella (panoDate), sekä kuvan sijainnin koordinaatteina (Lat ja Long). Esimerkki metatiedoston rivistä:

panoID: BQGS05vFsST7Ct6vLv_RRQ panoDate: 2011-08 longitude: 24.975917 latitude: 60.205916

Googlen ohjelmointirajapinnan käyttöä varten tarvitaan Google Cloud Platform -tili. Tilin haltija saa käyttöönsä ohjelmointirajapinta-avaimen, joka täytyy syöttää URL-hakuun aina rajapintaa käytettäessä. Metatietojen keräys rajapinnasta on maksutonta, mutta seuraavassa vaiheessa suoritettava varsinaisten kuvien lataaminen on tietyn tiedostomäärän jälkeen maksullista (Google, 2019a).

3.3.2 GSV-kuvien lataus

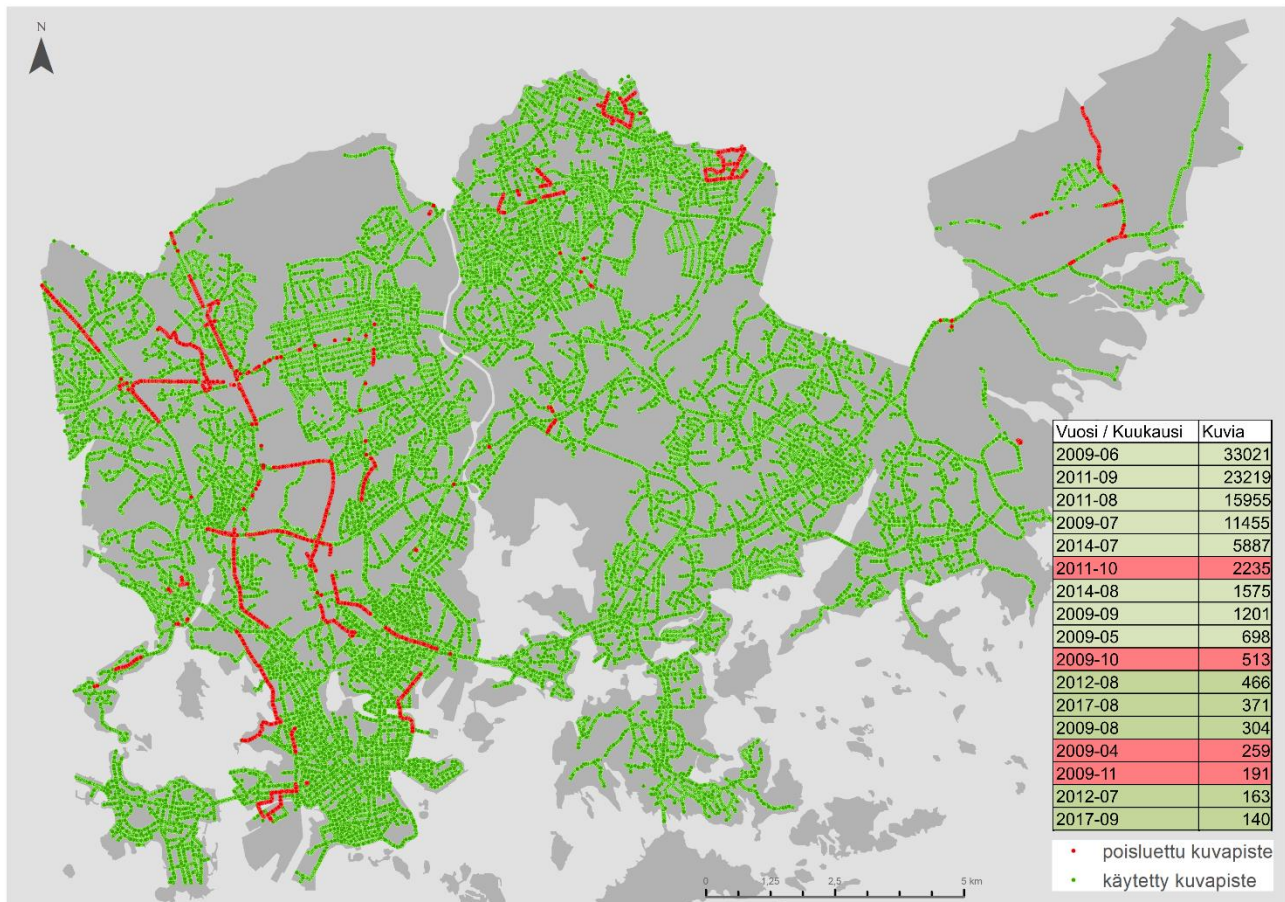
Kuvien latauksessa apuna käytettiin GreenView_Calculate.py -työkalua. Alkuperäinen työkalu ei tallenna GSV-kuvia, vaan laskee VI-arvot ajon aikana, jokaisen URL-haun yhteydessä. Koska kuvat haluttiin tallentaa mahdollisia jatkotutkimuksia varten, tämä työvaihe jaettiin kahteen osaan. Ensimmäisessä työvaiheessa kuvat ladattiin GSV_image_downloader.py -työkalulla. Toisessa vaiheessa kuvilta laskettiin VI-arvot GVI_local_calculator.py -työkalulla. Tämä tehosti laskentaa huomattavasti. Kuvien latauksessa ja VI-arvojen laskennassa käytettiin CSC:n tietotekniikan keskus Oy:n supertietokone Taiton laskentapalveluita.



Kuva 13. Työkaavio GSV kuvien latauksesta halutuilta kuvapisteiltä.

GSVImage_Downloader.py -työkalulle syötettiin kuvien metatiedot ja lista niistä kuukausista, joiden kuvat halutaan ladata. Vanhimmat kuvat on otettu huhtikuussa 2009 ja uusimmat syyskuussa 2017. Eniten kuvia on vuosilta 2009 ja 2011. Helsingin katunäkymäkuvaukset on suoritettu pääasiassa kesäkuukausina, mutta metatietojen joukossa oli kuitenkin pisteitä, joiden kuvausajankohta sijoittui loppusyksyyn tai aikaiseen kevääseen. Eri ajankohtina otettuja GSV kuvia tarkasteltiin verkkoselaimessa ja Helsingin lehtipuiden todettiin olevan vihreänä kuvissa, jotka on otettu toukokuusta syyskuuhun. Tarkempi rajausta ei ole

mahdollista, sillä Google ei tarjoa tietoja kuvien tarkasta ottoajankohdasta. Ladattujen metatietojen 97 653 pisteestä lopulta ladattavaksi jäi 94 455 pisteen kuvat (Kuva 14). Poisluettujen kuvapisteen joukossa oli paljon pisteitä muun muassa Mechelininkadulta, Merikannontieltä, Hakamäentieltä ja Mannerheimintieltä. Koska suurien väylien, kuten Mannerheimintien ja Hakamäentien toinen kaista oli kuitenkin kuvattu kesäaikaan, poisluetut kuvat eivät synnyttäneet merkittäviä aukkoja aineistoon.



Kuva 14. Kuvien ottoaikojen perusteella tehdyssä karsinnassa hyväksyttiin vain toukokuusta syyskuuhun kuvatut kuvapisteen. Poisluetut kuvapisteen sisälsivät kuvia huhti-, loka- ja marraskuulta. Taustakartan lähteet: (KYMP, 2018b)

Kuvien haku rajapinnasta tehtiin sarjalla URL-hakuja. GSV-ohjelmointirajapinnalle syötettävä URL-haku sisältää annetut vakioparametrit: Koko (size) 400 x 400 pikseliä, näkökenttä (fow) = 60°, kallistus (pitch) = 0, sekä avain (key) = Googlen ohjelmointirajapinnan käytön mahdollistava tunnus.. Lisäksi jokaiseen hakuun vaihtuvat kuvan ottosuunta (heading) ja kuvan tunnus (panoID). Kuvan ottosuuntia on kuusi: 0°, 60°, 120°, 180°, 240° ja 300°, joista 0° on suunnattu pohjoiseen (Kuva 16). Jokainen URL-haku täytyy myös ”allekirjoittaa” rajapinta-avaimelle yksilöidyllä salaisella tunnuksella.

"http://maps.googleapis.com/maps/api/streetview?size=400x400&pano=LMxvWUHqVxcqUkYyFDqEHA&fov=60&heading=300&pitch=0&sensor=false&key=AlzaSyCFnnFtPSvXHR38IFI22rHN7wtKcAMv5m4."



Kuva 15. Esimerkki panoraaman LMxvWUHqVxcqUkYyFDqEHA suuntaan 300° tehdystä URL-hausta ja hakua vastaavasta kuvasta (Google, 2019b).

Jokaista metatietojen sisältämää tunnusta (panoID) kohden on siis olemassa yksi 360 asteen GSV-panoraamakuva. Jokainen panoraama ladattiin kuudessa osassa, kukin omalla URL- haullaan (Kuva 15). Kuuden kuvan käyttäminen panoraaman latauksessa on todettu aikaisemmissa menetelmävertailuissa parhaaksi vaihtoehdoksi (Dong ym., 2018). Ladatut kuvat tallennettiin omina jpg-tiedostoinaan kuvapisteen tunnusta vastaavaan kansioon. Kuvat nimettiin niiden ottosuuntien ja kuvapisteen tunnuksen mukaisesti. Ladattuja kuvia oli yhteensä 566 730 kappaletta.

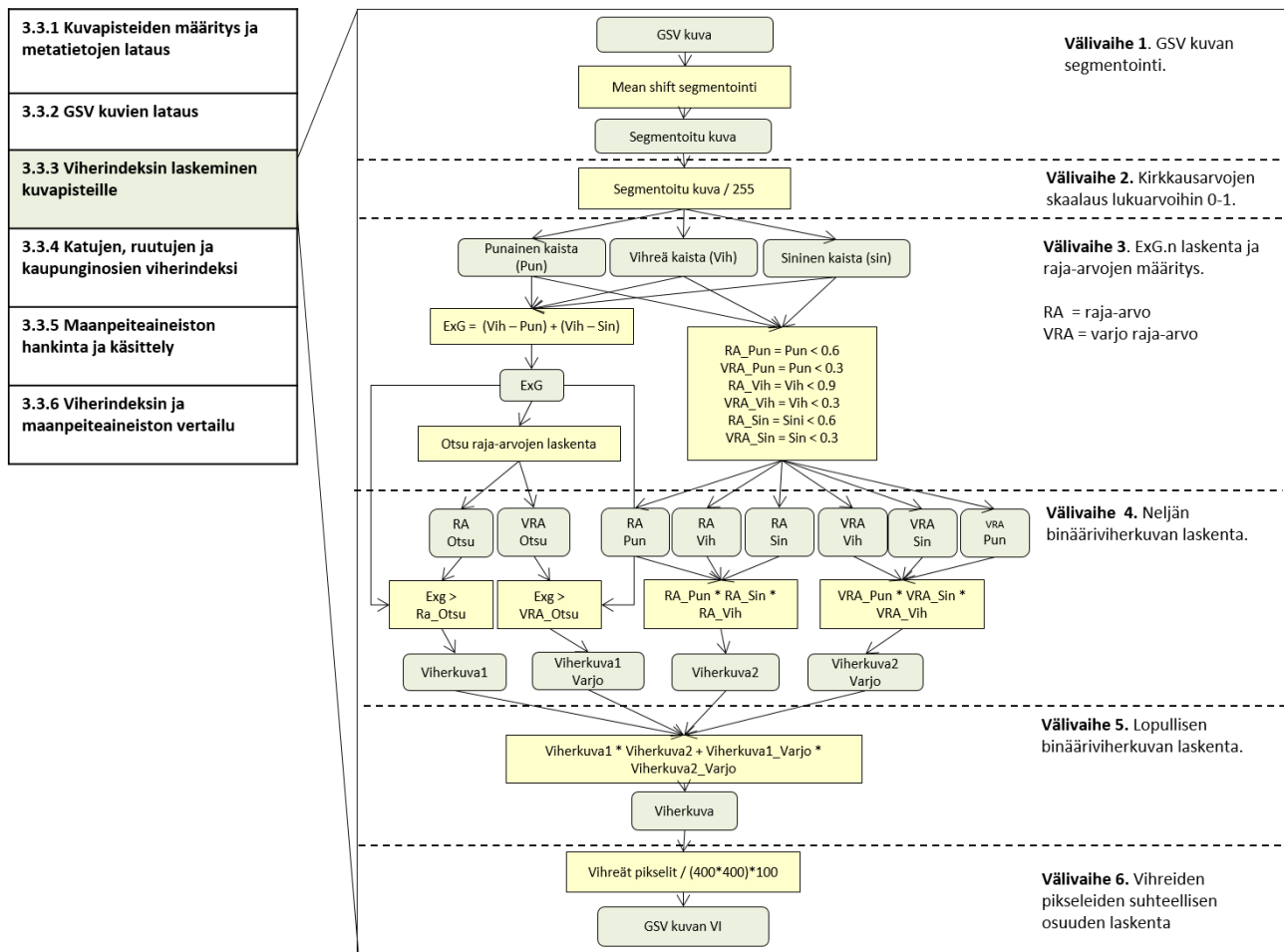


Kuva 16. Esimerkki yhden kuvapisteen 360 asteen katunäkymän latauksesta kuudessa osassa (Google, 2019b).

3.3.3 Viherindeksin laskeminen kuvapisteille

GVI_local_calculator.py-työkalu käyttää vihreiden pikseleiden määrittämisessä Mean Shift -segmentointi algoritmia, sekä Excess Green (ExG) kasvillisuusindeksiä. Työkalu käy läpi sille ilmoitetut kansiot ja laskee VI-arvot erikseen jokaiselle kuvalle. Näin jokainen kuva saa siis VI-lukuarvon nollan ja sadan väliltä, joka kertoo vihreiden pikseleiden prosentuaalisen osuuden kuvassa.

Laskennan ensimmäisessä vaiheessa kuvan pikselit segmentoidaan käyttämällä Mean Shift –algoritmia (Kuva 17, Välivaihe 1). Mean Shift segmentointi toteutettiin käyttämällä Pymeanshift moduulista löytyvää implementaatiota. Algoritmilta annettiin segmentoitujen alueiden koon ja määrän määrittävät parametrit. Parametrien arvoina käytettiin Treepedian esimerkkikoodin käyttämiä arvoja; naapureiden etsintäsäde (spatial radius) =6, maksimi naapuripikselin kirkkausarvon poikkeavuus (range radius) =7, ja segmentoidun polygonin minimi koko (min_density)=40. Segmentoidussa kuvassa pikselit on jaettu todellisuutta vastaaviksi, spektraalisten ja spatiaalisten ominaisuuksiensa suhteen homogeenisiksi kokonaisuuksiksi (Kuva 18).



Kuva 17. Viherindeksin laskentakaavio yhdelle GSV-kuvalle.

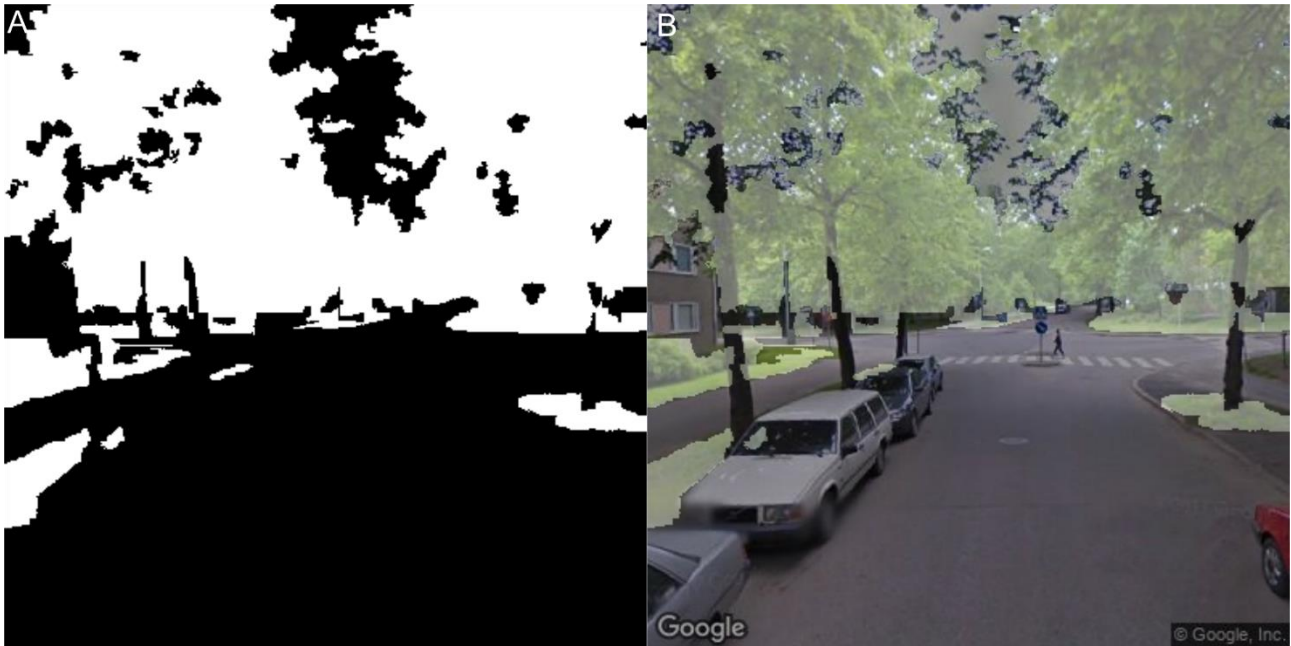


Kuva 18. Esimerkki Mean Shift-algoritmilla segmentoidusta GSV-kuvasta. A: Alkuperäinen kuva. B: Segmentoitu kuva (Google, 2019b).

Segmentoidusta kuvasta lasketaan vihreiden pikseleiden määrä (Kuva 17, Välivaiheet 2-6). Vihreiden pikseleiden määrittämisessä hyödynnetään Excess Green (ExG) kasvillisuusindeksiä (Ponti, 2013), Otsun raja-arvon määrittämismetodia (Otsu, 1979), sekä Treepedian avoimessa koodissa määritettyjä raja-arvoja punaiselle, vihreälle ja siniselle kanavalle. Ensimmäiseksi segmentoidun kuvan pikseleiden kirkkausarvot jaettiin mahdollisten kirkkausarvojen lukumäärällä 255. Näin kirkkausarvot skaalattiin välille 0-1 (Kuva 17, välivaihe 2). Skaalatuista kolmen kanavan kirkkausarvoista lasketaan ExG kuva, jonka pikseleille määritetään Otsun raja-arvot valoisassa ja varjossa (Kuva 17, välivaihe 3). Perustuen määritettyihin raja-arvoihin, ExG-kuvasta luodaan kaksi binääriviherkuvaa (Kuva 17, välivaihe 4).

Skaalatuille punaiselle, vihreälle ja siniselle kanavalle annetaan myös vihreiden pikseleiden kirkkaus raja-arvot valoisassa ja varjossa (Kuva 17, välivaihe 3). Näin luoduista binäärikuvista lasketaan myös kaksi binääriviherkuvaa kertomalla eri kanavien valoisat ja varjoiset vihreät pikselit keskenään (Kuva 17, välivaihe 4).

Neljästä binääriviherkuvasta lasketaan yksi binääriviherkuva kertomalla ensin valoisat ja varjoiset kuvat keskenään ja sitten summaamalla ne yhteen (Kuva 17, välivaihe 5). Lopuksi tuloksena saadun binäärikuvan (Kuva 19) vihreiden pikseleiden määrä suhteutetaan koko kuvan pikselimäärään, jolloin saadaan vihreiden pikseleiden prosentuaalinen osuus koko kuvasta eli kuvan viherindeksi-arvo (Kuva 17, välivaihe 6).



Kuva 19. GSV-kuvasta laskettu binääri viherkuva, jossa valkoiset pikselit ovat luokituneet kasvillisuudeksi. B. binäärikuva yhdistettynä alkuperäiseen GSV-kuvaan. Kuvan laskettu VI on 43.97%. (Google, 2019b)

Kuvien viherindeksit tallennettiin tiedostoon, jonka jokainen tietue sisältää tiedot kuvapisteen tunnuksesta, ottoajankohdasta, sijainnista sekä kuuteen eri suuntaan otetun kuvan VI-arvosta. Jokaiselle kuvapisteelle laskettiin myös kuuden kuvan muodostama VI-keskiarvo. Ellei toisin mainita, tässä työssä kuvapisteiden VI-arvoilla tarkoitetaan tuota kuuden kuvan VI-keskiarvoa.

$$VI = \frac{\sum_{i=1}^6 Area_{g_i}}{\sum_{i=1}^6 Area_{t_i}} \times 100\%$$

Kuva 20. Yhden kuvapisteen VI arvon laskentakaava, jossa Area g_i = vihreiden pikseleiden määrä ja Area t_i = kaikkien pikseleiden määrä jokaisessa kuudessa yhdeltä kuvapisteeltä ladatussa kuvassa.

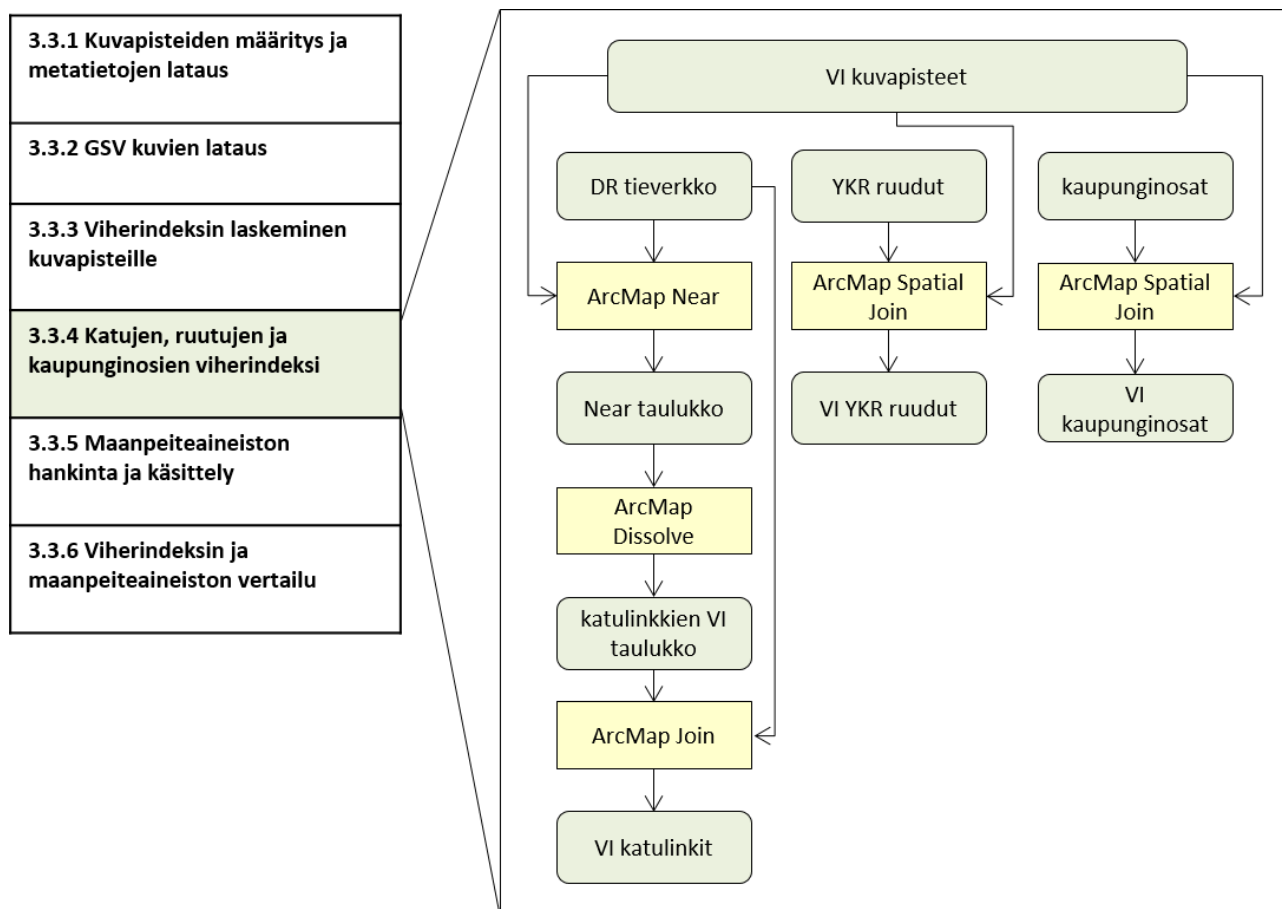
3.3.4 Katujen, ruutujen ja kaupunginosien viherindeksi.

Perustuen edellisessä työvaiheessa laskettuihin kuvapisteiden VI-arvoihin, VI-keskiarvo laskettiin myös Helsingin tieverkon linkeille, YKR-ruuduille sekä kaupunginosapolygoneille (Kuva 21).

Katutason tarkastelussa käytettiin Liikenneviraston Digiroad -aineistoa (Liikennevirasto, 2018). Tieverkon linkeille laskettiin VI-arvot mukaisesti selvittämällä jokaisen VI-kuvapisteen lähin katulinkki ArcMap Near -funktion avulla. Tuloksena saadun taulukon tulokset aggregoitiin perustuen katulinkin tunnukseen ArcMap Dissolve -työkalulla. Aggregoinnissa laskettiin jokaisen katulinkin VI laskemalla keskiarvo sitä lähimpänä sijaitsevien kuvapisteiden VI-arvoista. Aggregoitu taulukko liitettiin alkuperäiseen Digiroad-aineistoon

ArcMap Join -työkalulla perustuen katulinkin tunnukseen. Taulukoiden yhdistämisessä säilytettiin vain ne katulinkit, jotka saivat VI-arvoja.

Suurempina tarkastelutasoina käytettiin 250m*250m ruutuja, sekä kaupunginosia. Ruudut vastaavat Tilastokeskuksen valtakunnallisia tilastoruutuja, joita käytetään myös Yhdyskuntarakenteen seurannan aineistossa (Tilastokeskus, 2019). Tässä työssä ruuduista käytetään nimitystä YKR-ruudut. Kaupunginosa polygonit vastaavat Helsingin vuoden 2018 mukaista kaupunginosajakoa (KYMP, 2018a). VI:n laskeminen Kaupunginosille ja YKR-ruuduille toteutettiin ArcMap Spatial Join työkalulla. Kaupunginosan tai YKR-ruudun VI on keskiarvo niiden kuvapisteen VI-arvoista, jotka alueellisessa tarkastelussa osuvat ruudun tai kaupunginosa sisälle. YKR-ruutujen osalta tulevissa analyyseissä käytettiin vain niitä YKR-ruutuja, joiden VI-arvon muodostivat vähintään 5 eri kuvapistettä.



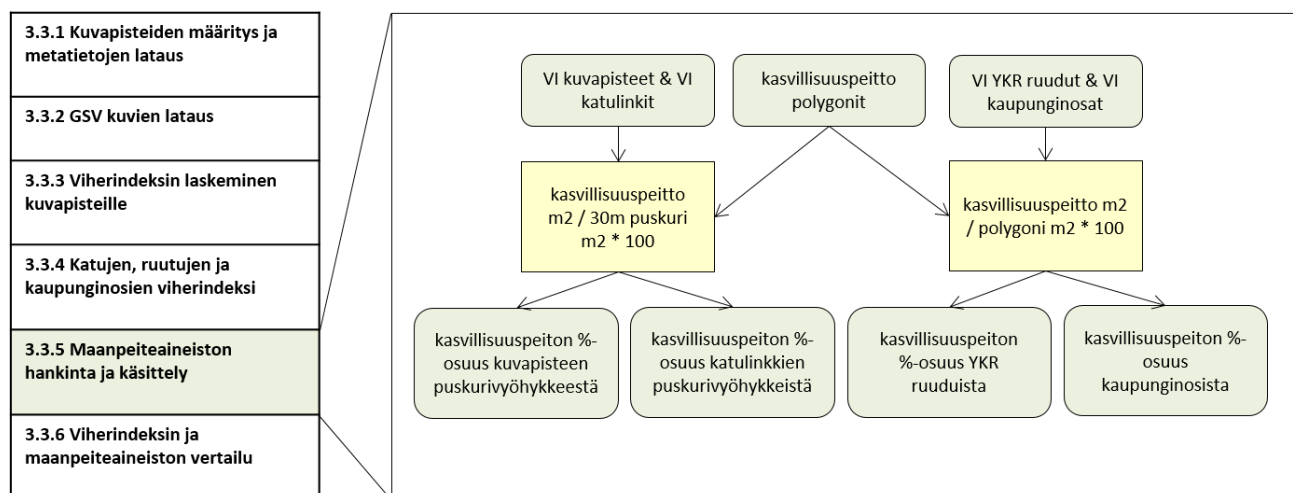
Kuva 21. Työkaavio katulinkkien, YKR-ruutujen ja kaupunginosien viherindeksin laskemisesta.

3.3.5 Vertailuaineistojen hankinta ja käsittely

Vertailuaineistona käytettiin vuoden 2016 Helsingin seudullisen maanpeiteaineiston (SMPA) luokkia 21 matala kasvillisuus ja 22 puusto. Maanpeiteaineiston luokista 21 ja 22 puhutaan jatkossa yleisesti kasvillisuuspeittona. Seudullinen maanpeiteaineisto on pääkaupunkiseudun ja Kirkkonummen kuntien alueen kattava aineisto, jossa maankäyttö on jaettu vettä läpäisemättömiksi pinnoiksi, kasvillisuudeksi, avokallioksi,

paljaaksi maaksi ja vesialueiksi. Maanpeiteluokituksen lähtöaineistona ovat vuoden 2015 ortoilmakuvat 0,2 metrin spatiaalisella resoluutiolla, sekä kuntien ja maanmittauslaitoksen laserkeilausaineistot. Tutkimusalueen luokittelussa on käytetty Helsingin laserkeilausaineistoa vuodelta 2015. Maanpeiteaineiston spatiaalinen tarkkuus on 0,5 metriä (Terratec, 2016).

Kasvillisuus on jaettu korkeuden perusteella kahteen luokkaan. Matalaksi kasvillisuudeksi on luokiteltu kaikki alle 2 metriä ja puustoksi kaikki yli 2 metriä korkea kasvillisuus. Kasvillisuusluokista on saatavilla kaksi versiota, perustoimitus ja viherpinta. Perustoimituksessa alun perin kasvillisuudeksi luokitellut alueet on leikattu tiestöllä ja rakennuksilla niillä kohdin kun ne risteävät. Tästä syystä esimerkiksi katujen välissä kasvavien puiden latvukset ovat usein leikkautuneet teiden mukaisesti ja latvuspeitto näyttää todellisuutta pienemmältä. Viherpinta on leikkaamaton kasvillisuuspinta, jossa kasvillisuusalueet ovat alkuperäisen muotoisia (Terratec, 2016). Aineiston visuaalinen tarkastelu osoitti, että viherpinta sisältää varsinkin matalan kasvillisuuden osalta paljon virheluokituksia. Esimerkiksi monet tutkimusalueen tiet olivat luokituneet matalaksi kasvillisuudeksi. Puuston osalta mahdollisia virheluokituksia havaittiin viherpinnassa vähemmän. Koska tässä tutkimuksessa ollaan kiinnostuneita kasvillisuuden todellisesta peitosta, käytettiin puuston kohdalla leikkaamatonta viherpintaa. Suurien virheluokitusten takia käytettiin matalasta kasvillisuudesta leikattua perustoimitusversiota.



Kuva 22. Työkaavio maanpeiteaineiston käsittelystä vertailua varten.

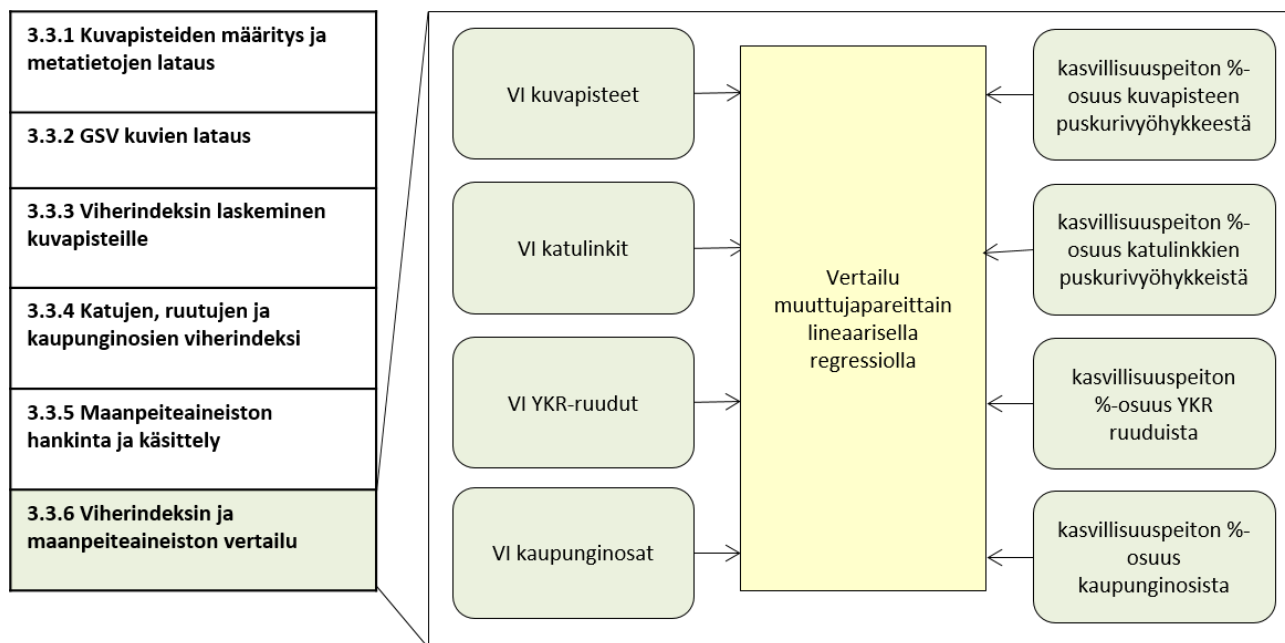
Vertailua varten, jokaisen VI-kuvapisteen ympärille luotiin 30 metrin puskurivyöhyke. Puskurivyöhykkeen sisäältä laskettiin matalan kasvillisuuden, puuston sekä koko kasvillisuuspeiton prosentuaaliset osuudet vyöhykkeen pinta-alasta. Sama prosessi tehtiin myös katulinkeille (Kuva 22). 30 metrin puskurivyöhykkeen todettiin olevan hyvä kompromissi keskustan kapeiden katujen ja muiden leveämpien tieosuuksien välillä. Liian pieni vyöhyke ei ylettäisi kuvapisteeltä katujen reunoille esimerkiksi isoilla risteysalueilla, kun taas liian suuri vyöhyke saattaisi keskustan alueella ulottua jo seuraavalle kadulle (Kuva 23). Myös YKR-ruuduille ja kaupunginosille laskettiin kasvillisuuspeiteluokkien prosentuaaliset osuudet niiden pinta-aloista. Koska maanpeiteaineistot ja käytetyt VI-aineistot ovat tiedostokooltaan varsin suuria, tehtiin tämä työvaihe käyttäen Python työkalua VI_Buffertool.py.



Kuva 23. Kartassa maanpeiteaineiston kasvillisuuspeitto, sekä kuvapisteille laskettu 30 metrin puskurivyöhyke. Kuvan selkeyttämiseksi jokaisen kuvapisteen puskurivyöhykettä ei ole piirretty erikseen. Puskurivyöhykkeiden sisältä laskettiin puuston, matalan kasvillisuuden, sekä koko kasvillisuuden prosentuaaliset osuudet puskurin pinta-alasta. Taustakartan lähteet: (HSY, 2016; KYMP, 2019)

3.3.6 Viherindeksin ja maanpeiteaineiston vertailu.

Vertailu VI-arvojen ja kasvillisuuspeiton välillä suoritettiin neljällä eri spatiaalisella tarkastelutasolla; kuvapiste, katulinkki, YKR-ruutu ja kaupunginosa. Näiden spatiaalisten tasojen VI-arvoja vertailtiin edellisessä työvaiheessa laskettuihin matalan kasvillisuuden, puuston sekä koko kasvillisuuspeiton prosentuaalisiin osuuksiin alueista (Kuva 24). Vertailussa käytettiin lineaarista regressiota ja jokaisen muuttujaparin välille laskettiin korrelaatiokerroin R . Korrelaatiokerroin on tunnusluku -1 ja 1 välillä, joka kuvaa muuttujien välistä lineaarista riippuvuutta. Korrelaatiokerroin 0 ilmaisee, että muuttujien välillä ei vallitse riippuvuutta ollenkaan ja korrelaatiokerroin 1 kertoo muuttujien välisestä täydellisestä positiivisesta riippuvuudesta.



Kuva 24. Työkaavio viherindeksin ja kasvillisuuspeiton välillä tehdystä vertailusta.

Koko kasvillisuuspeiton prosentuaalista osuutta kuvapisteiden puskurivyöhykkeistä vertailtiin VI-arvoihin myös manuaalisesti. Vertailu suoritettiin valitsemalla attribuuttitaulukosta korkean VI-arvon ja matalan kasvillisuuspeiton kuvapisteitä ja toisin päin. Kyselyillä valittujen kuvapisteiden GSV-kuvia tarkasteltiin visuaalisesti. Näin voitiin selvittää, minkälaisilla alueilla ja minkälaisissa tilanteissa katunäkymä ja maanpeiteaineiston kasvillisuuspeitto eroavat toisistaan eniten. Korkean VI:n ja matalan kasvillisuuspeiton pisteeksi määritettiin ne kuvapisteet, joiden puskurivyöhykkeen kasvillisuuspeitto oli alle 15 % ja VI-arvo yli 30 %. Matalan VI:n ja korkean kasvillisuuspeiton kuvapisteiksi taas määritettiin ne pisteet, joiden VI-arvo oli alle 15 % ja puskurivyöhykkeen kasvillisuuspeitto oli yli 30 % (Kuva 26).

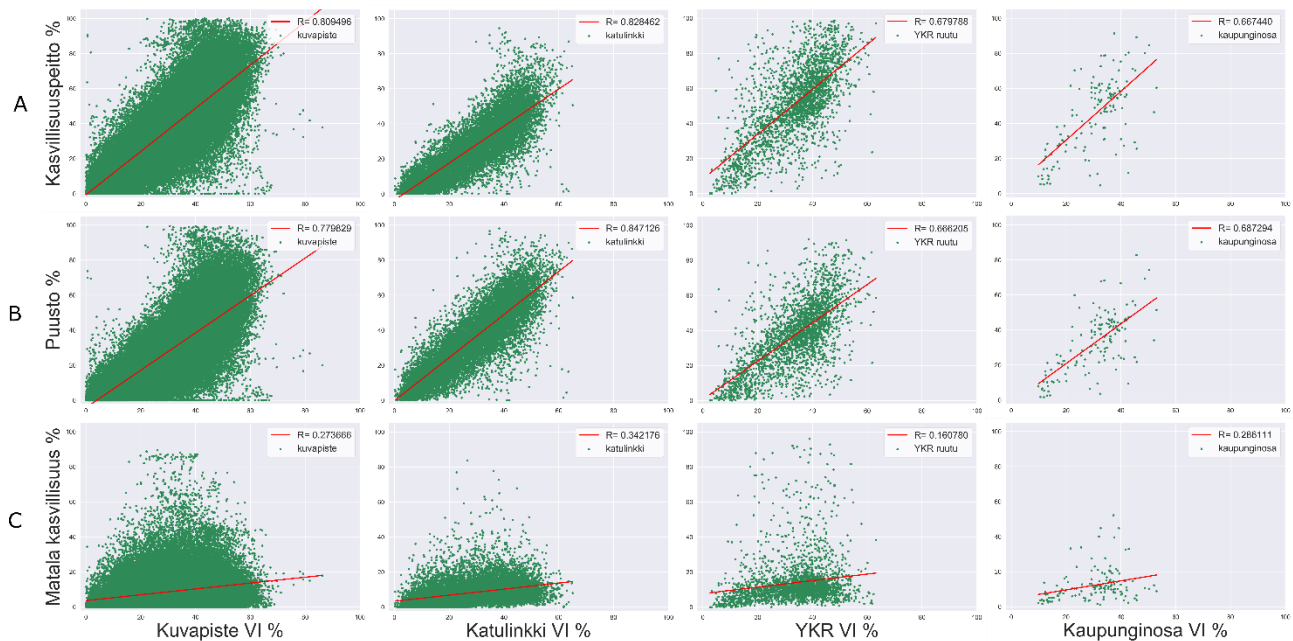
4 Tulokset

4.1 Vihernäkymä vs. kasvillisuuspeitto

Matalan kasvillisuuden ja VI-arvojen välillä vallitsi heikko positiivinen korrelaatio kaikilla tarkastelutasoilla. Heikoin korrelaatio vallitsee YKR-ruutujen VI-arvojen kanssa ($R = 0,16$) ja korkein katulinkkien VI-arvojen kanssa ($R = 0,34$). Kaikilla tarkastelutasoilla matalan kasvillisuuden prosentuaalinen peitto oli monin paikoin huomattavasti VI-arvoja suurempi (Kuva 25C).

VI-arvojen ja puuston peittävyys välillä havaittiin huomattavasti voimakkaampi yhteys (Kuva 25). Heikoiten puuston peittävyysarvot korreloivat YKR-ruutujen VI-arvojen kanssa ($R = 0,67$). Vahvinta korrelaatio on tässäkin luokassa katulinkkien VI-arvojen kanssa ($R = 0,85$). Kuvapisteiden VI-arvojen kanssa korrelaatiokerroin on 0,78 ja kaupunginosien VI-arvojen kanssa 0,69. Erityisesti kuvapisteiden vertailua tarkasteltaessa voitiin havaita osan pisteistä saavan hyvinkin suuria puustonpeittoarvoja verrattuna VI-arvoihin. Samankaltaista korrelaatiota voidaan havaita verrattaessa koko kasvillisuuspeiton osuuksia VI-

arvoihin (Kuva 25 A). Korkein korrelaatiokerroin on jälleen katulinkkien VI-arvojen kanssa ($R = 0,82$) ja matalin kaupunginosien VI-arvojen kanssa ($R = 0,67$).

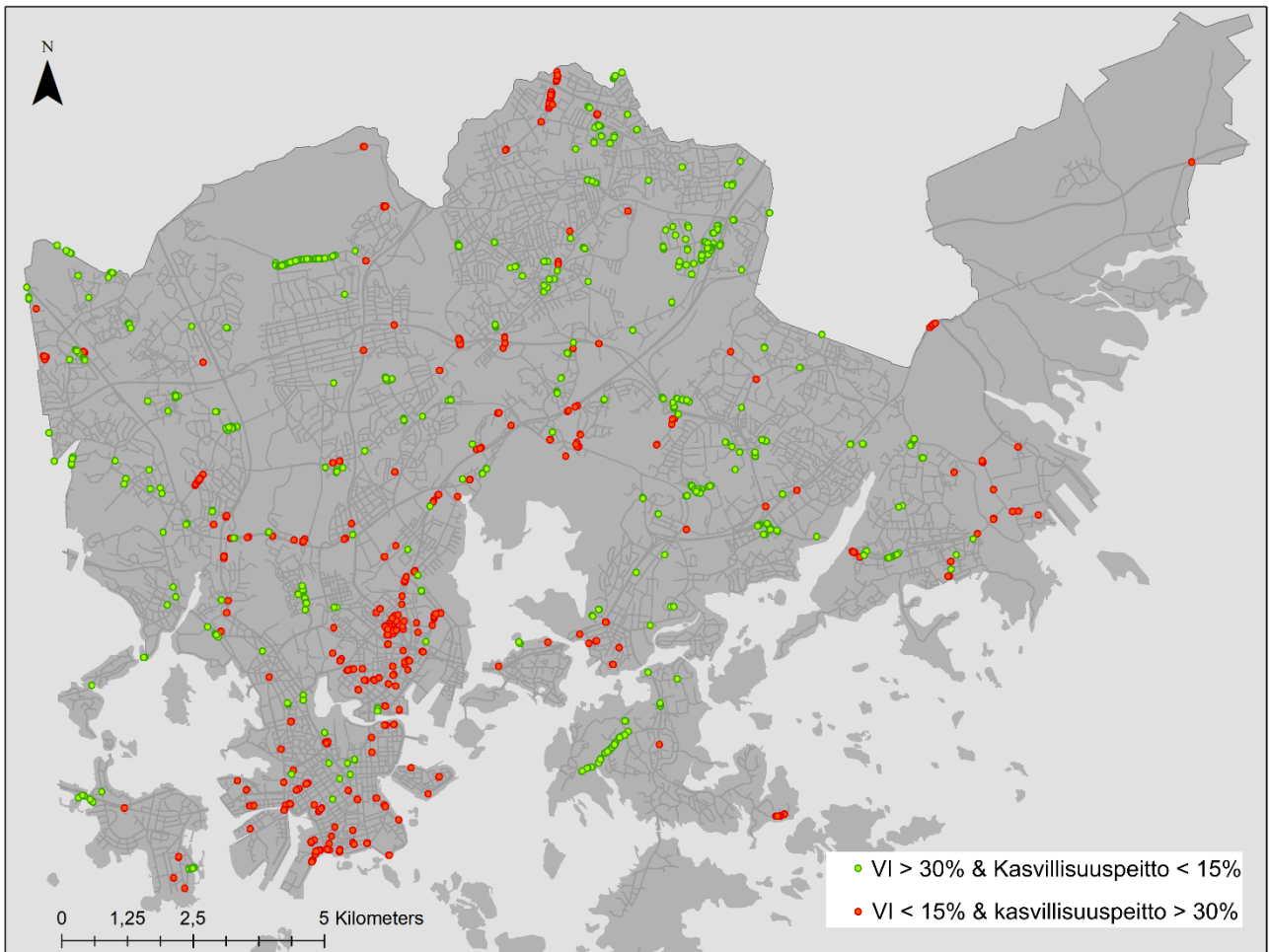


Kuva 25. Lineaarisen regression tulokset.

Kaikki vertailut muuttujapareit osoittivat siis positiivista korrelaatiota. Vahvinta korrelaatio oli puuston ja katulinkkien VI-arvojen välillä ja heikointa YKR-ruutujen VI-arvojen ja matalan kasvillisuuden välillä. Koska korrelaatiokertoimet eri spatiaalisten tarkastelutasojen välillä eivät eroa toisistaan merkittävästi, voidaan VI-arvojen laskemisen katunodeille YKR-ruuduille ja kaupunginosille todeta olevan melko luotettavaa. Matalan kasvillisuuden heikon korrelaation perusteella, voidaan todeta viherindeksin kertovan enemmänkin puuston ja muun korkean kasvillisuuden määrästä. Kuvaajat sisälsivät kuitenkin erittäin paljon hajontaa ja voidaankin todeta, että yksin kasvillisuuden peittävyys eri alueilla ei kerro vihernäkymän määrästä kovinkaan luotettavasti. Suurinta hajonta oli erityisesti YKR-ruutujen ja kaupunginosien tarkastelutasoilla.

Jotta voitaisiin ymmärtää millaisilla alueilla aineistot eroavat toisistaan eniten, tarkasteltiin suurinta hajontaa aiheuttaneiden kuvapisteen GSV-kuvia visuaalisesti. Kasvillisuuspeittoon nähden korkeita VI-arvoja saivat monin paikoin katunäkymät, jotka sisälsivät tuuheita katupuurivejä (Kuva 26 B) tai kasvillisuuden peittämiä rakennuksia (Kuva 26 A). Usein myös kuvapisteen, joissa kasvillisuus tuli aivan lähelle tietä ja lähelle kameraa saivat kasvillisuuspeittoon nähden korkeita VI-arvoja. Suurin osa kuvassa 26 näkyvistä vihreistä pisteistä selittyi kuitenkin erilaisilla virhelähteillä, joita käsitellään keskusteluosiossa.

Kasvillisuuspeittoon nähden matalia VI-arvoja saivat esimerkiksi kuvapisteen, joilla läheinen kasvillisuus jää kadulta katsottuna piiloon esimerkiksi sisäpihoille (Kuva 26 E) tai aitojen ja muurien taakse (Kuva 26 C). Myös useat matalan kasvillisuuden alueet (Kuva 26D), Helsingin muutamat tunnelit sekä katunäkymät, joissa kasvillisuus on katunäkymään nähden eri tasossa, (Kuva 26F) erottuivat vertailussa alueina, joissa VI-arvot olivat puskurivyöhykkeen kasvillisuuspeittoa alhaisempia.



Kuva 26. Kartta kuvapisteistä, joiden VI-arvot ja kasvillisuuspeitto 30 metrin puskurivyöhykkeellä eroavat toisistaan huomattavasti. Vihreiden kuvapisteiden VI-arvot ovat yli 30% ja kasvillisuuspeitto puskurivyöhykkeellä alle 15%. Punaisten kuvapisteiden VI-arvot ovat alle 15%, mutta kasvillisuuspeitto puskurivyöhykkeellä yli 30%. Taustakartan lähteet: (KYMP, 2018b; Liikennevirasto, 2018)



A. Katunäkymä Kivelänkadulta. VI: 33% kasvillisuuspeitto: 14%



B. Katunäkymä Viherniemenkadulta. VI: 48% kasvillisuuspeitto: 13%



C. Katunäkymä Laivasillankadulta. VI: 10% kasvillisuuspeitto 33%



D. Katunäkymä Merikadulta VI: 14% kasvillisuuspeitto 34%



E. Katunäkymä Vanajantieltä. VI: 3% kasvillisuuspeitto 31%



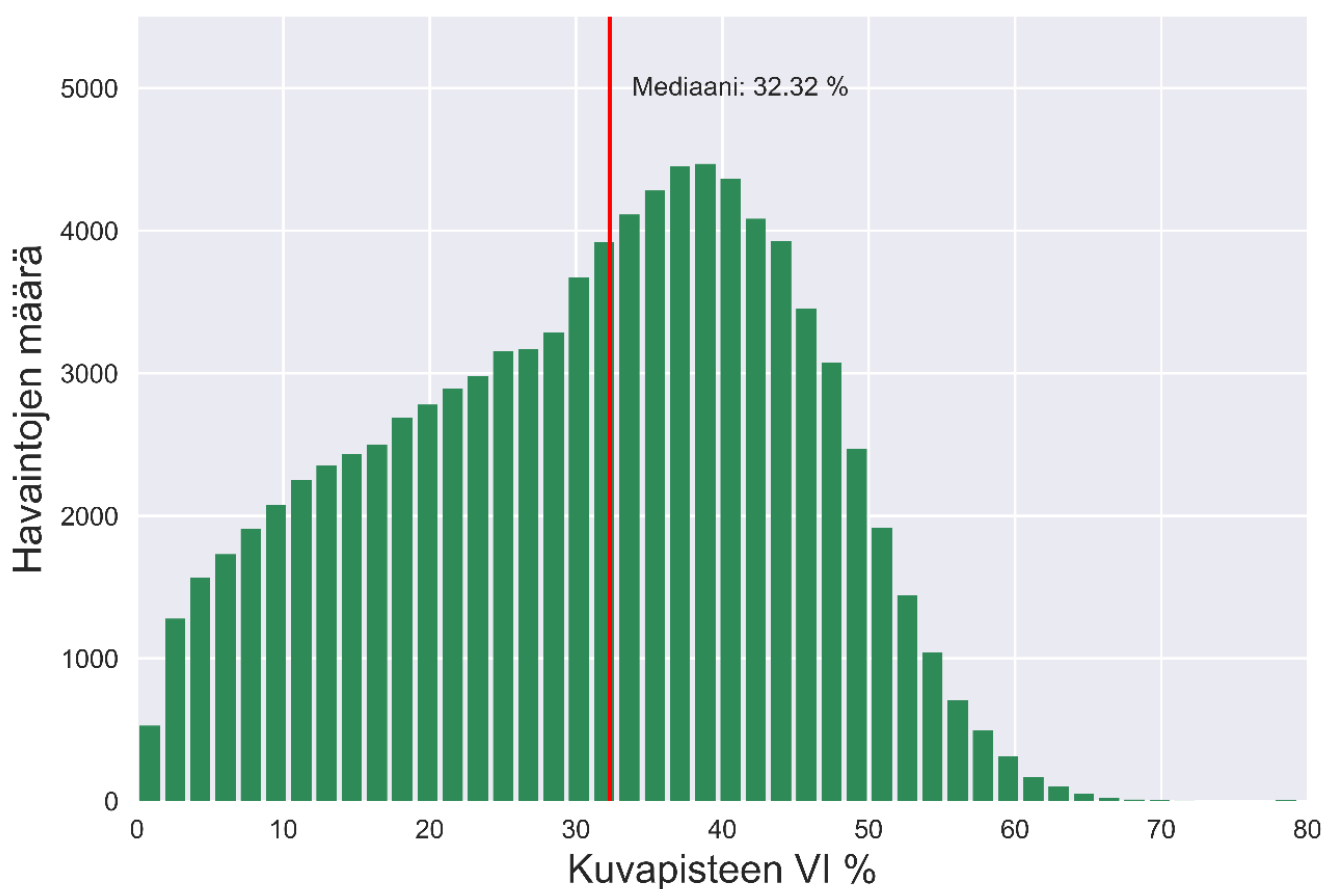
F. Katunäkymä Liisankadulta. VI 12% kasvillisuuspeitto 30%

Kuva 26. Kuvapisteiden, joissa VI-arvot ja kasvillisuuspeitto 30 metrin säteellä eroavat toisistaan, katunäkymiä. Katunäkymissä A ja B korkea VI-arvo ja matala kasvillisuuspeitto. Katunäkymissä C, D, E ja F matala VI arvo, mutta korkea kasvillisuuspeitto (Google, 2019b).

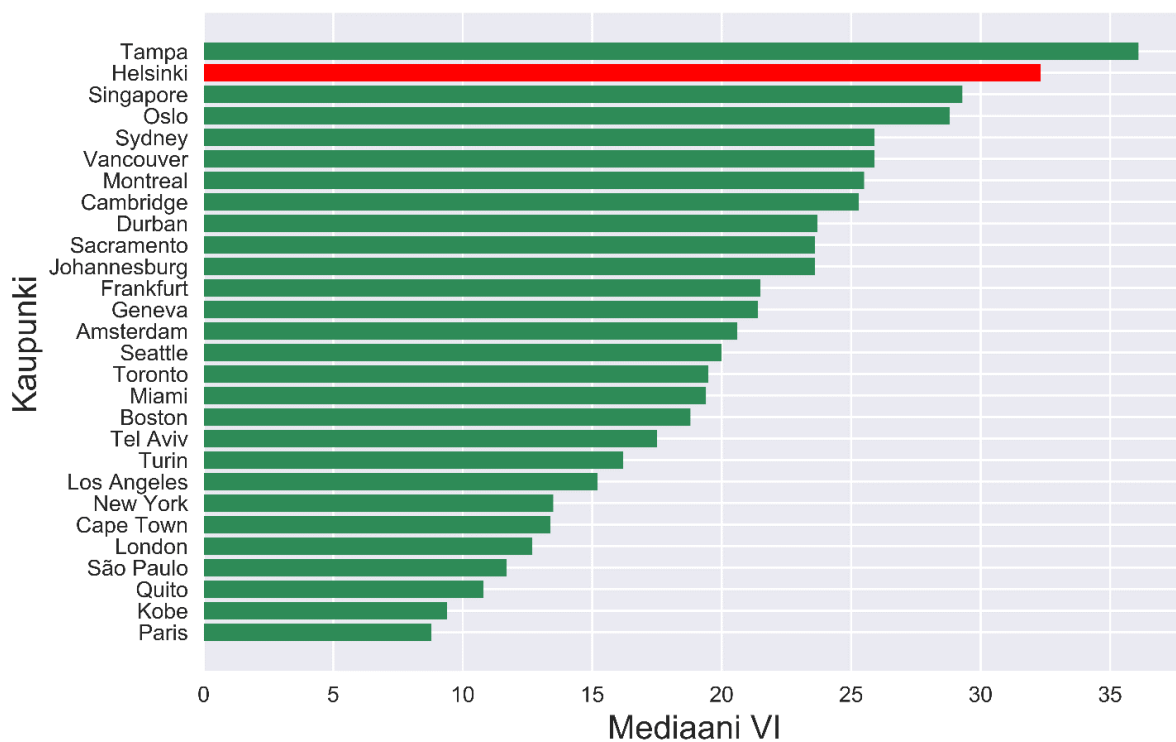
4.2 Helsingin vihernäkymät

4.2.1 Viherindeksijakauma ja kansainvälinen vertailu

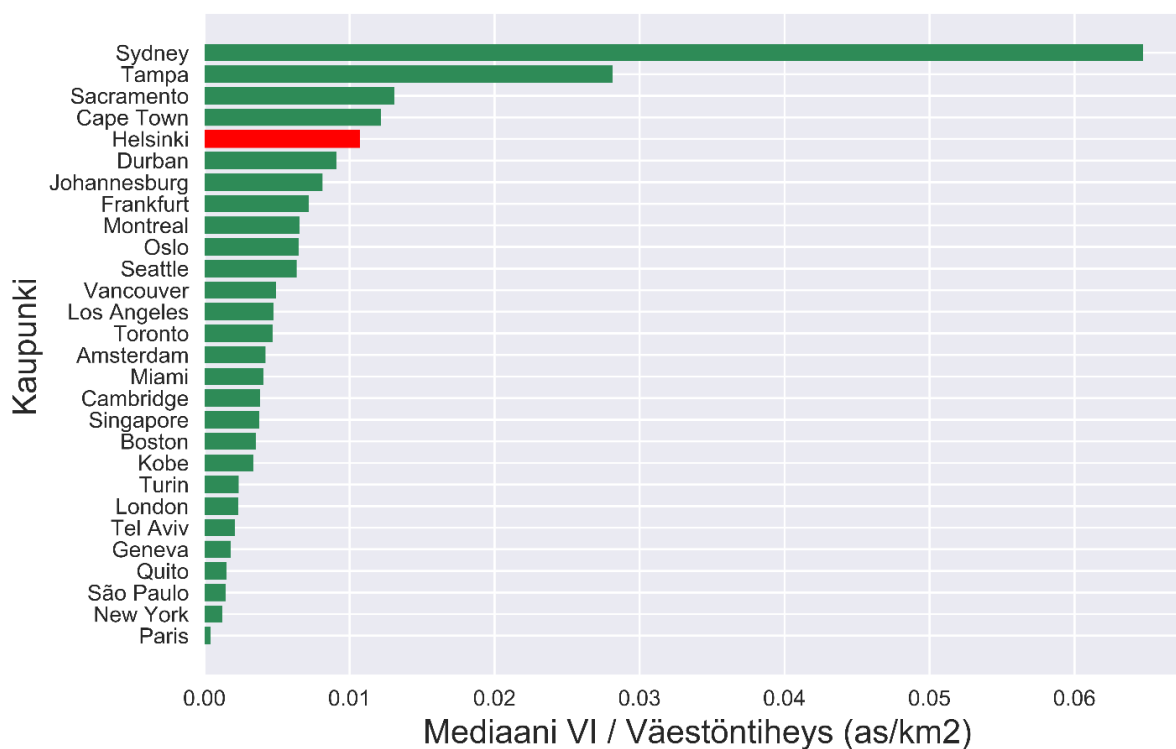
Helsingin kaikkien kuvapisteiden VI-arvot vaihtelevat välillä 0–86 %. Kaikkien kuvapisteiden mediaani VI on 32.32 % (Kuva 27). Helsingin mediaani VI sijoittuu kansainvälisessä vertailussa varsin korkealle. Treepedia -verkkosivustolle laskettujen 27:n kaupungin mediaani VI:t vaihtelevat Pariisin 8.8 prosentista Tampan 36.1 %. Vertailtaessa kaupunkien mediaaniarvoja, Helsinki sijoittuu toiseksi heti Tampan jälkeen (Kuva 28). Helsinkiä maantieteellisesti lähin vertailukohde tulee Oslost (mediaani VI 28.8 %). Kun kaupunkien VI:t suhteutetaan niiden keskimääräiseen väestötiheyteen (asukasta/km²), Helsinki sijoittuu listauksessa kuudenneksi Sydneyn noustessa kärkeen (Kuva 29). Helsingin asukastiheys vuonna 2017 oli 2934 asukasta/km² (HKKT., 2018)



Kuva 27. Histogrammi kuvapisteiden VI-arvojen jakautumisesta Helsingissä.



Kuva 28 Pylväsdiagrammi vertailukaupunkien mediaani VI arvoista (MIT Senseable City Lab, 2019)

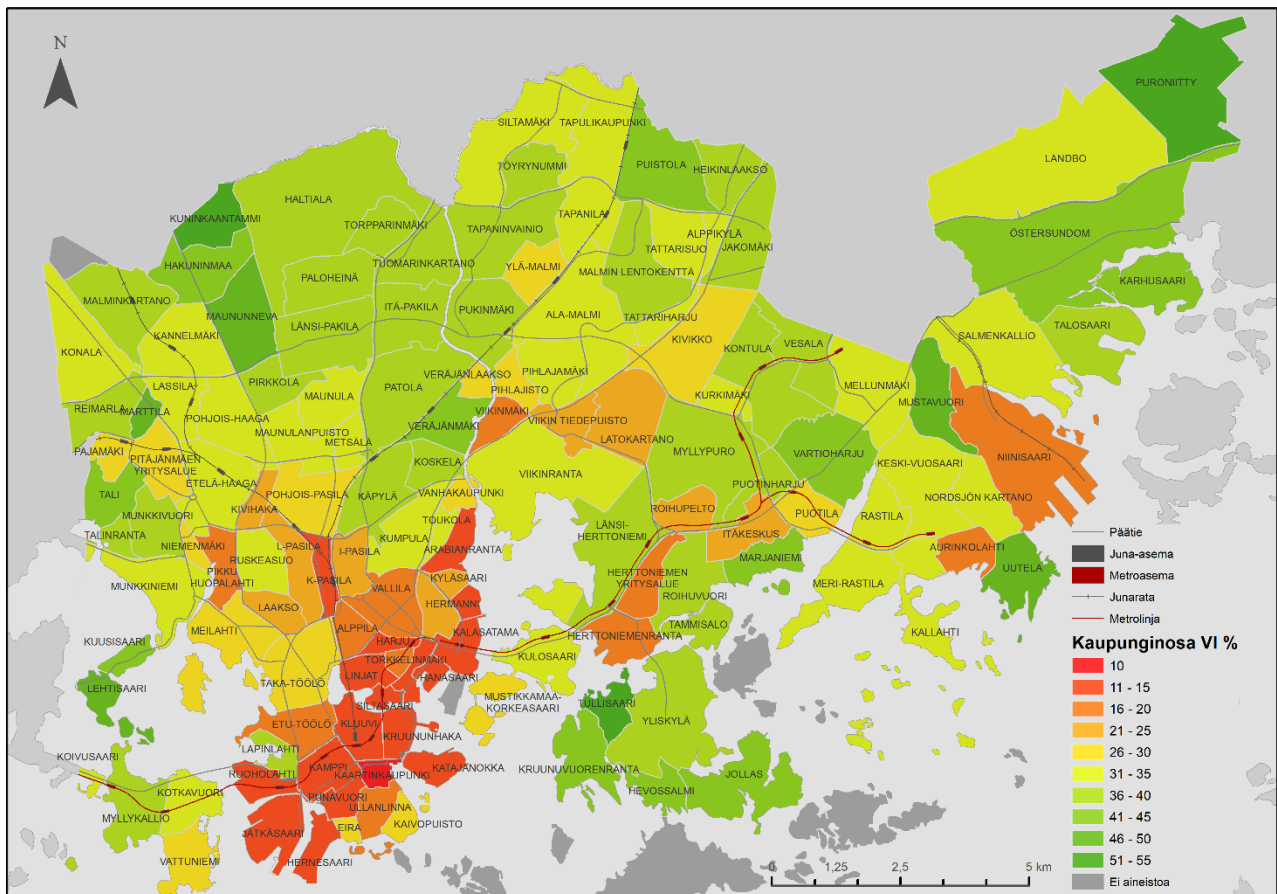


Kuva 29. Pylväsdiagrammi vertailukaupunkien VI-arvoista suhteutettuna väestötiheyteen (asukasta/km2) (MIT Senseable City Lab, 2019).

4.2.2 VI-arvojen alueellinen jakautuminen

Kuvapisteiden suuren määrän ja alueen laajuuden takia, on VI-arvojen alueellista jakautumista helpompi tarkastella kuvapisteitä suuremmilla alueellisilla tarkastelutasoilla. Kaupunginosien vihernäkymien keskiarvoja kuvaavassa kartassa erottuvat selvästi kantakaupungin alhaiset VI-arvot (Kuva 30). Vihernäkymältään alhaisin kaupunginosa on Kaartinkaupunki, jonka keskimääräinen VI-arvo on ainoana kaupunginosaana alle 10 %. Alle 15 % VI-arvoja ovat saaneet muun muassa Kamppi, Kluuvi, Kruununuhaka ja Kalasatama. Kantakaupungin kaupunginosista korkeimpia VI-arvoja ovat saaneet Kaivopuisto, Eira ja Lapinlahti.

Kaupunginosien VI-arvot kasvavat siirryttäessä kantakaupungista ulospäin. Korkeimpia arvoja ovat saaneet Kuninkaantammi, Maununneva, Tullisaari, Marttila ja Lehtisaari. Kantakaupungin ohella matalampia VI-arvoja ovat saaneet muun muassa Niinisaari, Aurinkolahti, Viikinmäki ja Herttoniemenranta. Jo kaupunginosien välisessä tarkastelussa voidaan myös nähdä, kuinka yritysalueet, kuten Herttoniemen yritysalue ja Pitäjänmäen yritysalue erottuvat ympäristöään alhaisemmilla VI-arvoilla.

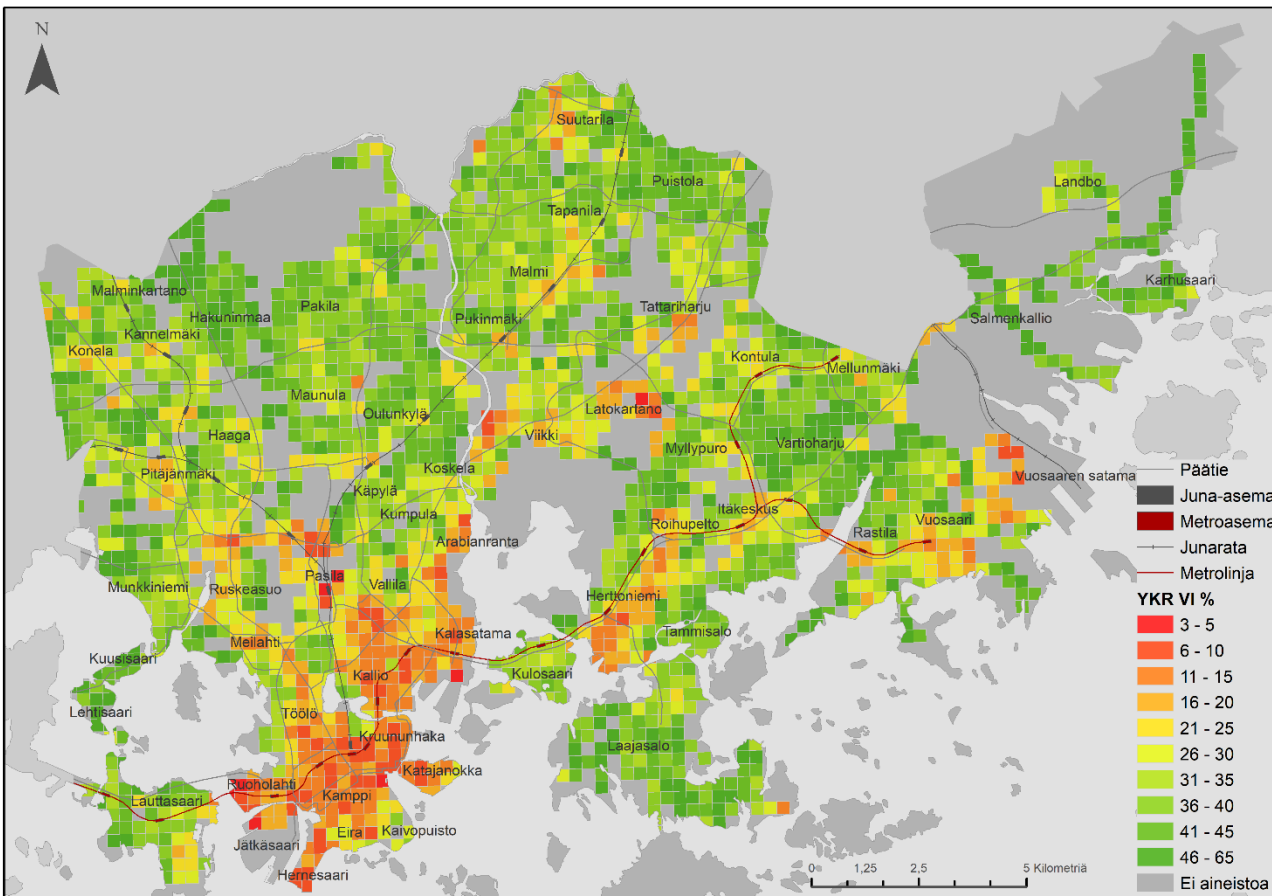


Kuva 30. Kartta kaupunginosien VI-keskiarvoista. Taustakartan lähteet: (KYMP, 2018a, 2018b)

Myös YKR-ruutujen avulla tehdyssä tarkastelussa ydinkeskusta ja kantakaupunki erottuvat selkeästi muista alueista (Kuva 31). Kaupunginosien sisäisiä vaihteluita on kuitenkin havaittavissa. Erityisesti muutamat ranta-alueet, kuten Katajanokan itäosa ja Töölön länsiosa erottuvat vihreämpinä muusta kaupunginosasta.

Muidenkin kaupunginosien sisäisiä eroja on havaittavissa. Useat paikalliskeskukset erottuvat niitä ympäröivistä asuinalueista vähemmän vihreinä. Pohjois-Helsingissä nämä alhaisten VI-arvojen keskittymät seurailevat junaratoja, esimerkiksi Lassilan, Kannelmäen, Metsälän ja Pukinmäen asema-alueet erottuvat ympäristöstään selvästi. Itä-Helsingissä vastaava ilmiö on havaittavissa esimerkiksi Myllypuron, Kontulan, Rastilan ja Vuosaaren metroasemien yhteydessä. Muita ympäristöään vähemmän vihreitä alueita, ovat yritysvaltaiset alueet esimerkiksi Pasilassa, Konalassa, Pitäjänmäellä ja Suutarilassa. Asuinalueista alhaisimpia VI-arvoja ovat saaneet Vuosaari, Viikinmäki, Arabianranta, Latokartano ja Herttoniemenranta.

Erityisen vihreinä erottuvat kauempana kantakaupungista sijaitsevat omakotitaloalueet, kuten Hakuninmaa, Karhusaari ja Puistola. Lähellä kantakaupunkia sijaitsevista alueista Kuusisaari, Lehtisaari, Kulosaari sekä Lauttasaari ovat erityisen vihreitä.

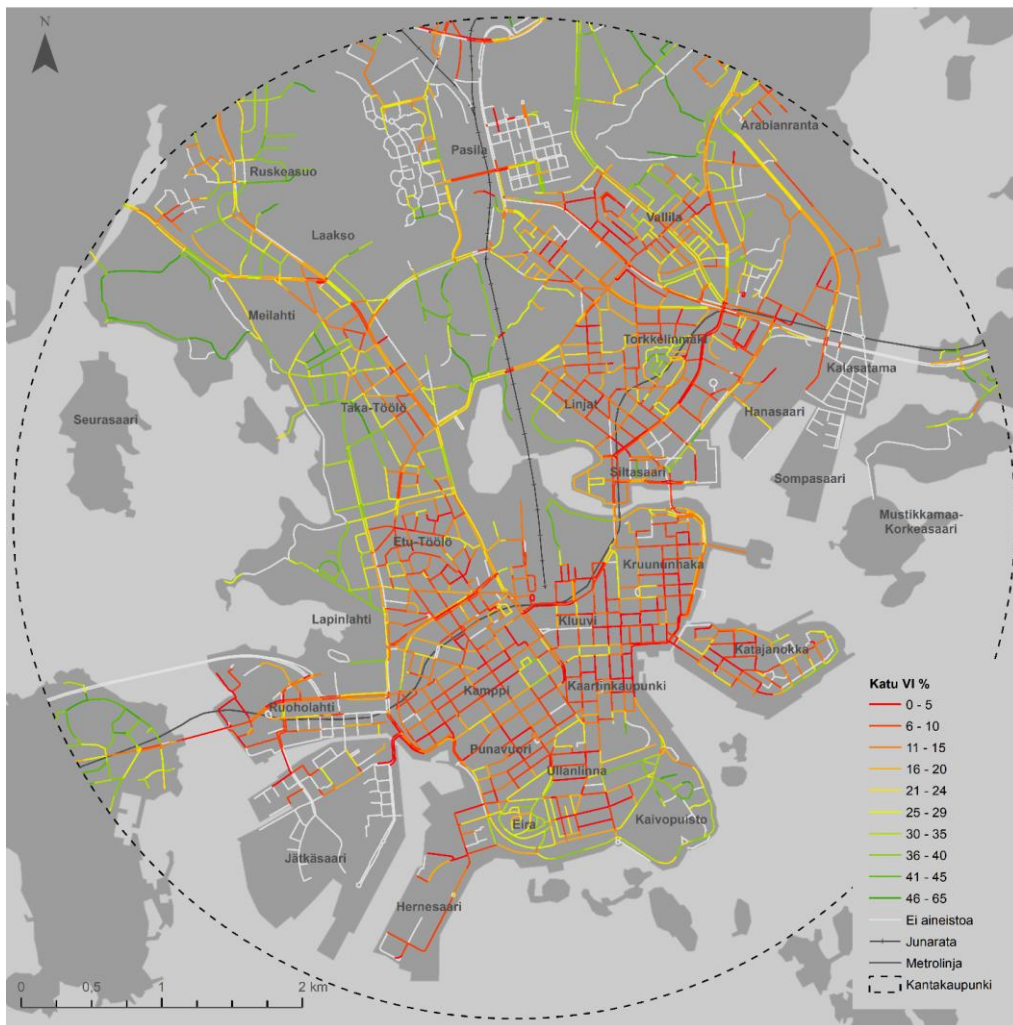


Kuva 31. Kartta YKR-ruutujen VI-keskiarvoista. Taustakartan lähteet: (KYMP, 2018b)

Koska ydinkeskusta ja sitä ympäröivä kantakaupunki erottuvat muista alueista selkeästi, tarkasteltiin VI-arvojen jakautumista kantakaupungin alueella tarkemmin käyttäen katulinkkien VI keskiarvoja (Kuva 32).

Koko Helsingin katuosuuksien keskiarvo VI on noin 30 %. Kantakaupungissa vastaava luku on vain noin 17 %. Koko Helsingin keskiarvon ylittäviä katuosuuksia on ydinkeskustan läheisyydessä vain joidenkin puistojen laidoilla. Kaivopuistoa, Kaisaniemeä, ja Töölönlahtea kiertävät tiet erottuvat alueen vihreimpinä katuina. Myös pienempien puistojen, kuten Vanhan Kirkkopuiston ja Johanneksen puiston viereiset kadut erottuvat ympäröiviä katuja korkeampina VI-arvoina. VI-arvoltaan yli 30 prosentin kadut yleistyvät siirryttäessä keskustasta pohjoiseen ja muun muassa Meilahdessa ja Ruskeasuolla niitä on jo varsin paljon. Erityisesti Laajalahden rantaa ja Keskuspuiston laitamia seurailevat katuosuudet erottuvat kartasta ympäristöään vihreämpinä.

Vähiten katuvihreää on erityisesti Rautatien, Senaatintien ja Kauppatorin ympäristöissä. Osa niitä ympäröivistä kaduista on saanut keskimääräiseksi VI-arvokseen alle 5 %. Muita alle 5 prosentin katuosuuksia on muun muassa myös Kaartinkaupungissa, Ullanlinnassa ja Etu-Töölössä. Alle 10 prosentin katuosuuksia on jo huomattavasti enemmän. Esimerkiksi suurin osa Kampin, Kluuvun, Kruununhaan, Kaartinkaupungin ja Kallion katuosuuksista kuuluvat tähän luokkaan.



Kuva 32. Kartta kantakaupungin katulinkkien VI-keskiarvoista. Taustakartan lähteet: (KYMP, 2018b; Liikennevirasto, 2018)

5 Keskustelu

5.1 Aineistovertailu

Vihernäkymää mittaavien VI-arvojen ja seudullisen maanpeiteaineiston kasvillisuuspeittoa vertailemalla haluttiin tarkastella vihernäkymän ja perinteisin kaukokartoitusmenetelmin tuotetun kaupunkikasvillisuusaineiston välistä suhdetta. Koska kirjallisuuskatsauksen perustella saatettiin olettaa aineistojen välisiä eroavaisuuksia, haluttiin myös selvittää minkälaisilla alueilla ja miksi aineistot eroavat toisistaan. Aineistoja vertailtiin ensin lineaarisella regressioanalyysillä, jonka jälkeen osaa hajontaa aiheuttaneista kuvapisteistä tarkasteltiin visuaalisesti GSV-kuvien kautta.

5.1.1 Perspektiivieroja

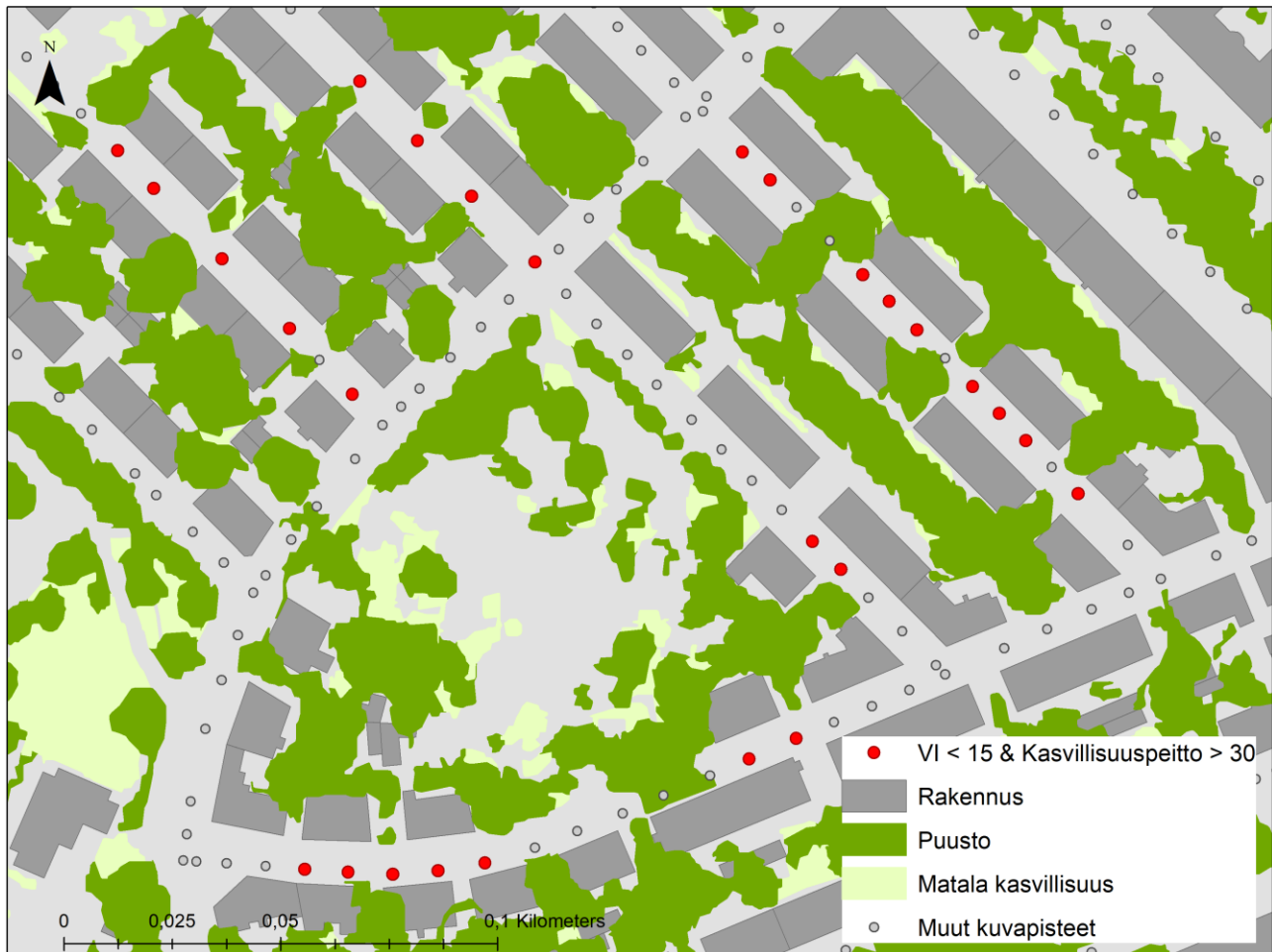
Matalan kasvillisuuden ja VI:n välillä vallitsi varsin heikko riippuvuussuhde kaikilla spatiaalisilla tarkastelutasoilla. Tämä tulos on hyvin linjassa aikaisempien tutkimuksien tulosten kanssa (Li, Zhang, Li, Ricard, ym., 2015). Ero selittyy pääosin aineistojen perspektiivierolla. Matala kasvillisuus, kuten ruohokentät peittävät horisontaalisesti kuvatusa katunäkymäkuvasta paljon pienemmän osuuden kuin ylhäältä päin kuvatusa ilmakuvasta. Maaston ollessa tasainen, suurikin ruohoalue tai pelto saattaa näkyä katunäkymäkuvassa vain kapeana kaistaleena, kun se ilmakuvasta nähden voi peittää koko kuvapisteen puskurivyöhykkeen tai YKR-ruudun.

Maanpeiteaineiston puuston ja VI:n välillä vallitsi sen sijaan paljon voimakkaampi positiivinen riippuvuussuhde kaikilla spatiaalisilla tarkastelutasoilla. Myös tämä tukee aikaisempien tutkimusten tuloksia siitä, että erityisesti suuret lehvästöt ja muut vertikaalinen kasvillisuus vaikuttavat VI-arvoihin positiivisesti (Li, Zhang, Li, Ricard, ym., 2015; Yang ym., 2009). Katunäkymäkuvista laskettu vihreyden määrä olikin monin paikoin suurempi kuin ilmasta havainnoitu kasvillisuuspeitto. Tämä tuli ilmi tarkasteltaessa niiden kuvapisteiden kuvia, jotka olivat saaneet korkeita VI-arvoja, mutta matalia kasvillisuuspeittoarvoja. Useat näistä kuvapisteistä sijaitsivatkin kaduilla, joilla kasvoi tuuheita katupuita ja pensaita. Erittäin runsaan kasvillisuuden vertikaalinen peitto katunäkymässä voikin paikoin kasvaa suuremmaksi kuin ilmasta tarkasteltu horisontaalinen peitto. Tällainen tilanne ilmeni erityisesti yksittäisistä puista koostuvien puurivien ja kasvillisuuden peittämien seinien kohdalla (Kuva 26 A ja B).

Osalla kuvapisteistä VI-arvot olivat niitä ympäröivään kasvillisuuspeittoon nähden kuitenkin varsin alhaiset. Kuvapisteiden katunäkymäkuvia tarkastelemalla selvisi, että nämä pisteet olivat usein alueita, joilla jokin este, kuten aita tai muuri, peitti kasvillisuuden katunäkymäkuvissa. Myös korkeuserot aiheuttivat eroja aineistojen välillä. Tällöin eroja syntyi esimerkiksi kallioleikkauksien ja monitasoristeyksien kohdilla (Kuva 26 C ja F).

Vanhoille asuinalueille tyypilliset umpikorttelit ja sisäpihat aiheuttivat myös eroja aineistojen välillä. Erityisesti Vallilan vanhoissa puutalokortteleissa useat kuvapisteen saivat kasvillisuuspeittoon nähden alhaisia VI-arvoja. Tämä johtuu kasvillisuuden keskittymisestä talojen sisäpihoille, jolloin vain osa siitä on havaittavissa kadulta käsin (Kuva 33). Muita sisäpihojen kasvillisuuden aiheuttamia eroja havaittiin myös Kruunuhaassa, Ruoholahdessa ja Kaivopuistossa. Tarkasteltaessa Helsingin maankäyttökarttaa voidaan

kuitenkin havaita sisäpihojen kasvillisuuden olevan erittäin yleistä myös muissa kantakaupungin kaupunginosissa. Kuvapisteidenvälinen 30 metrin puskurivyöhyke ei kuitenkaan useissa tapauksissa ylettynyt talojen sisäpihoille saakka, jolloin myös sisäpihojen kasvillisuus jäi analyysien ulkopuolelle (Kuva 23).



Kuva 33. Kasvillisuuspeitekartta Vallilasta. Punaisella merkittyjen kuvapisteidenvälinen VI-arvot ovat alle 15 %, mutta 30 metrin puskurivyöhykkeellä kasvillisuuspeitto on yli 30 %. Taustakartan lähteet: (HSY, 2016; KYMP, 2019)

5.1.2 Virhelähteitä

Aineistojen vertailussa havaittiin kuitenkin paljon hajontaa, josta kaikki ei ole selitettävissä aineistojen perspektiivistä johtuvilla eroilla. Virhelähteet liittyvät GSV-kuvien käyttöön, käytettyyn kuvaluokittelumenetelmään sekä vertailussa käytettyihin menetelmiin.

Ehkäpä suurin yksittäinen virhelähde on vertailtujen aineistojen ajallinen erilaisuus. Seudullinen maanpeiteaineisto on tuotettu vuonna 2016, kun taas VI:n laskennassa käytetyt GSV-kuvat ovat vuosilta 2009- 2017. Kuten on jo todettu, Helsinki kasvaa kovaa vauhtia ja uusia asuinalueita nousee jatkuvasti (Vuori & Kaaslia, 2018). Tämä näkyy myös vertailun tuloksissa. Useat GSV-kuvissa vielä rakentamattomat

alueet osoittautuivat maanpeiteaineistoa ja Googlen satelliittikuvia tarkastelemalla rakennetuiksi (Kuva 34). Tällöin kuvapisteele laskettu VI-arvo ei tietenkään ole ajantasainen. Ajallisesta erilaisuudesta johtuvat ongelmat koskettavat erityisesti vuosien 2009 ja 2011 GSV-kuvia, sekä Helsingin kaupungin uusimpia kaupunginosia. Kantakaupungissa ja ydinkeskustassa, jossa suuria maisemallisia muutoksia tapahtuu enää vähän, vastaavia virhelähteitä havaittiin vain muutamia.



Kuva 34. Esimerkki ajallisten erojen aiheuttamista virheistä. Kuvassa A on vuonna 2011 otettu katunäkymäkuva Alppikylän Väskgrändenin tieltä kohti pohjoista. Kuvassa B kuvakaappaus seudullisesta maanpeiteaineistosta Väskgrändenin tieltä. Punainen piste osoittaa katunäkymän sijainnin. (Google, 2019; HSY, 2016; KYMP, 2019; Liikennevirasto, 2018)



Kuva 35. Vuodenaikojen aiheuttamia virheitä Tikkuritieltä. Kuva A Toukokuulta 2009, kuva B Syyskuulta 2011. Sekä lehdeettömät puut, että lehtipuiden ruska pienentävät VI-arvoja (Google, 2019b).

Vaikka vihernäkymää laskettaessa käytettiin vain touko-syyskuussa otettuja kuvia, huomattiin aineistovertailussa myös vuodenaikaisvaihteluun liittyviä viherlähteitä. Hyvä esimerkki on Tapulikaupungissa sijaitseva Tikkuritie, jossa osa katunäkymäkuvista on toukokuulta 2009 ja osa syyskuulta 2011. Tikkuritien toukokuuisissa kuvissa kevät näyttää olevan hieman myöhässä, joten lehtipuissa on vielä varsin vähän vihreää (Kuva 35 A). Syyskuuisissa kuvissa lehtivihreä on taas ehtinyt alkaa kadota lehdistä ja osa tienvierustan kasvillisuudesta on jo punaista ja keltaista (Kuva 35 B). Toistaiseksi Google ei anna GSV-kuville tarkempaa aikaleimaa kuin kuukauden ja vuoden. Näin ollen, esimerkiksi aikaisen toukokuun tai myöhäisen syyskuun kuvien ulosrajaaminen ei ole mahdollista. Kaikkien syys- ja toukokuissa kuvattujen kuvapisteen poistaminen olisi aiheuttanut noin 2000 kuvapisteen poisluvun aineistosta. Koska muita vuodenaikaisvaihtelun aiheuttamia virhelähteen alueita ei vertailussa havaittu, päätettiin touko- ja syyskuussa otetut katunäkymäkuvat pitää mukana tarkastelussa.

Aineistojen eroja tarkasteltaessa huomattiin myös GSV-kuvien luokittelumenetelmään liittyviä virhelähteitä. Vaikka käytetty objektipohjainen luokittelu on validoitu useaan kertaan, tuottaa se paikoin myös virheluokituksia. Helsingin katunäkymässä virheitä VI-arvoihin tuottavat muun muassa vihreät raitiovaunut (Kuva 36 B), moottoritiekyltit (Kuva 36 D), bussipysäkit, sekä vihreät autot (Kuva 36 A). Vaikka näitä objekteja voi paikoin olla varsin paljon, ovat niiden vaikutukset vihernäkymään kuitenkin varsin paikallisia ja rajautuvat yksittäisiin kuvapisteisiin. Koska yhden kuvapisteen VI-arvon on kuuden kuvan keskiarvo, on yhdessä kuvassa olevan liikennemerkkin tai bussipysäkin vaikutus varsin pieni koko kuvapisteen VI-arvoon. Suurempia virheitä aiheuttivat kuitenkin vihreät rakennukset, jotka saattavat peittää suurenkin osan katunäkymästä (Kuva 36C). Myös valaistusolosuhteet aiheuttivat virheluokituksia. Erityisesti hyvin tummat, varjoiset pikselit eivät joissain kuvissa luokituneet kasvillisuudeksi (Kuva 36 E). Valaistuksesta johtuvia virheluokituksia havaittiin erityisesti kirkkaassa auringon valossa otetuissa GSV-kuvissa, joissa kontrastit ovat suuria.

Myös vertailussa käytetty 30 metrin puskurivyöhyke aiheutti paikoin eroja aineistojen välillä. Erityisesti avarilla paikoilla, kuten teiden risteyksissä ja parkkipaikkojen reunoilla otetut kuvat saivat usein kasvillisuuspeittoon nähden korkeita VI-arvoja. Tämä johtunee yksinkertaisesti siitä, että avarammilla alueilla kuvapisteestä näkyvä kasvillisuus voi olla reilusti yli kolmenkymmenen metrin päässä.



Kuva 36. Esimerkkejä virheellisesti luokitettuneista kuvista. Vasemmalla ladattu GSV-kuva ja oikealla luokiteltu binäärikuva, jossa valkoiset pikselit ovat kasvillisuudeksi luokitettuneita. Virheitä aiheuttivat mm. vihreät kulkuneuvot, kyltit ja rakennukset. Myös varjoon jäävä kasvillisuus aiheutti virheluokituksia erityisesti suorassa auringonvalossa (Google, 2019b)

5.2 Helsingin vihernäkymät

5.2.1 Kansainvälinen vertailu

Osana tutkimusta Helsingin VI-arvojen mediaania vertailtiin muihin vastaavalla menetelmällä kartoitettuihin kaupunkeihin. Ottaen huomioon kaupunki- ja katuviheyden positiiviset vaikutukset, Helsingin sijoittuminen vihernäkymiltään viiden vihreimmän kaupungin joukkoon kummallakin vertailumenetelmällä voidaan katsoa varsin positiiviseksi asiaksi. Menetelmään liittyvien virhelähteiden takia tulokset eivät ole absoluuttisen tarkkoja, mutta antavat selvän kuvan eri kaupunkien katuviheyden määrästä.

Kansainvälisen vertailun antamaa kuvaa vääristävät vertailukaupunkien hyvin erilaiset maantieteelliset sijainnit ja ilmasto-olot. Esimerkiksi Helsingissä ja Oslolla vihreitä kuukausia on vuosittain vain kuusi, kun taas Tampassa ja Singaporessa lehtipuut säilyttävät vihreytensä ympäri vuoden. Jos Helsingin katujen vihernäkymiä kartoitettaisiin talvikuukausina, jolloin lehtipuissa ei ole lehtiä, olisi tulos varsin erilainen. Toisaalta samanlaisista ilmasto-oloista olevien kaupunkien välillä vertailu on varsin toimiva. Tarkkaa selvyyttä ei ole myöskään vertailukaupunkien GSV-kuva otannasta eikä kaupunkien rajauksesta. Tarkemmassa vertailussa tulisi rajata vertailtavat alueet samoin perustein ja pyrkiä mahdollisimman homogeenisiin otantoihin.

Koska kaupunkien keskustat ja kantakaupunginosat ovat usein vähemmän vihreitä (Ford, 2000), ehkä mielekkäintä olisikin vertailla ainoastaan kantakaupunkien VI-arvoja. Kaupunkien keskustoista on usein myös kattavimmat GSV-kuva-aineistot. Ainoastaan kantakaupunkien VI-arvoja tarkasteltaessa myös Helsingin sijoitus vertailussa todennäköisesti muuttuisi, sillä Helsingin laitamilla on toistaiseksi paljon maaseutumaisia ympäristöjä, jotka nostavat Helsingin vihernäkymämediaania.

5.2.2 Alueelliset erot

Vihernäkymän havaittiin jakautuvan varsin epätasaisesti Helsingin sisällä. Syitä näihin eroavaisuuksiin pyrittiin pohtimaan tarkastelemalla laadittuja vihernäkymäkartoja, ladattuja katunäkymäkuvia, sekä Googlen katu- ja ilmakuvia verkkoselaimessa.

Kantakaupungin, ja erityisesti sen vanhimpien osien, matalia VI-arvoja selittää varsin vähäinen kaduille näkyvä kasvillisuus. Usein suoraan jalkakäytävästä alkavat korkeat kerrostalot peittävät suurimman osan katunäkymästä. Ilmakuvia tarkasteltaessa voidaankin huomata, että kerrostalojen pihakasvillisuus sijaitsee kaduilta piilossa, talojen sisäpihoilla. Tämä on tyypillistä 1800- ja 1900-lukujen taitteessa rakennetuille kaupunginosille Helsingissä. Sisäpihoja ja umpikortteleiden sisäosia tarvittiin vielä kehittyvässä yhteiskunnassa erinäisiin tarkoituksiin, kuten pienmaatalouteen ja varastotiloiksi. Myöhemmin sisäpihoista on pyritty rakentamaan asukkaille viihtyisiä virkistysalueita. Tyypillisiä umpikortteleita ja vehreitä sisäpihoja sisältäviä alueita ovat muun muassa Töölö, Kruunuhaka, Kamppi, Kaartinkaupunki ja Punavuori. Myös vanhoilla puutalovaltaisilla alueilla, kuten Vallilassa, kasvillisuus on keskittynyt pääasiassa talojen sisäpihoille (Tikka ym., 2015). Muutamien vanhempien kaupunginosien, kuten Eiran, Torkkelinmäen ja Käpylän kohdalla, 1900-luvun alkupuolelle tyypillinen ruutumainen umpikorttelirakenne kuitenkin hylättiin. Tavoitteena oli rakentaa viihtyisiä puutarhakaupunginosia lähelle keskustaa (Tikka ym., 2015). Vihernäkymäkartoja tarkastellessa voidaan todeta tämän onnistuneen, sillä juuri kyseiset kaupunginosat

erottuvat kartoilta varsin korkeina VI-arvoina (Kuva 31, Kuva 32) Kantakaupungin vihernäkymä koostuu pääasiassa puistoista ja istutetuista katupuuriveistä. Vanhojen ja tuuheiden katupuiden reunustamat kadut, kuten Bulevardi, Vuorimiehenkatu ja Mechelininkatu erottuvat kantakaupungin vihernäkymäkartassa ympäröiviä katujaan vihreämpinä (Kuva 32). Myös kantakaupungin puistoja kiertävät tiet erottuvat kartasta selvästi korkeampina VI-arvoina. Puistojen ja katupuiden voimakas vaikutus VI-arvoihin johtuu erityisesti vanhojen puiden suuresta vertikaalisesta peittävydestä. Puistojen vaikutus on tosin melko pistemäistä ja kantakaupungin kaupunginosat, kuten Kamppi (Kuva 37 B), Kluuvi, Kaartinkaupunki, Kruununhaka ja Punavuori kärsivät selvästi katuvihreän puutteesta.

Kantakaupungin ohella, kaupunginosien lähikeskukset erottuvat usein ympäristöään matalampina VI-arvoina (Kuva 31). Kuten kantakaupungissa, myös lähikeskuksissa on usein vähän omakotitaloja ja niiden vihreitä puutarhoja. Maisemaa hallitsevat usein kerrostalot, parkkipaikat ja liikenneväylät. Kaupunkisuunnittelussa on usein huomioitu myös katuvihreä istuttamalla esimerkiksi puita ja pensaita parkkipaikkojen reunoille ja teiden varsille (Kuva 37 C).

Kuten oletettua, myös suuret yritysalueet, kuten Pitäjänmäen yritysalue erottuivat ympäristöstään vähäisellä katuvihreällä. Yritysalueet on usein suunniteltu toimivuus edellä, joten katujen viihtyisyyteen ei ole välttämättä kiinnitetty suurta huomioita (Richards & Edwards, 2017). Visuaalisella tarkastelulla havaittiinkin esimerkiksi Pitäjänmäen yritysalueen sisältävän kuitenkin joitain puu- ja pensasrivistöjä rakennusten ja teiden vierustoilla. Rakennuskanta koostuu suurista halleista tai kerrostaloista, joiden julkisivut ovat usein hyvin harmaasävyisiä. Rakennusten ovat pihat usein asfaltoituja tai kivettyjä (Kuva 37 D). Vihreyttä teollisuusalueille tuovat harvojen istutusten lisäksi esimerkiksi satunnaiset joutomaat ja ojanvierustojen hoitamattomat taimikot.

Korkeimpina vihernäkymä alueina erottuivat selvästi omakotitalovaltaiset asuinalueet. Omakotitaloalueiden VI-arvoja kasvattavat erityisesti pihat ja puutarhat, jotka näkyvät usein kadulle. Erityisesti pihvoja reunustavat puu- ja pensasaidat näyttäisivät nostavan voimakkaasti katunäkymien VI-arvoja (Kuva 37E). Asuinalueiden väliset metsät ja virkistysalueet vaikuttavat myös positiivisesti alueiden VI-arvoihin. Esimerkiksi Helsingin vihersormet voidaan selvästi havaita tarkasteltaessa YKR-ruutujen VI-arvoja (Kuva 31).

Myös asuinalueen iällä tuntuu olevan suuri merkitys katujen vihernäkymiin. Vanhoilla, kantakaupunkia lähellä sijaitsevilla asuinalueilla, kuten Lauttasaaressa, Kuusisaaressa ja Lehtisaaressa kasvaa paljon vanhoja katu- ja pihapuita, jotka kasvattavat VI-arvoja (Kuva 37F). Toisaalta verrattain nuorilla asuinalueilla, kuten Arabianrannassa, Herttoniemenrannassa ja Latokartanossa VI-arvot ovat hyvin alhaisia johtuen todennäköisesti nuorista katupuista ja vastikään tehdyistä istutuksista (Kuva 37G). Uusien asuinalueiden vihernäkymä riippuu myös paljolti alueiden suunnittelusta. 2000-luvulla rakennetuilla asuinalueilla sisäpihoja enää harvoin eristetään korkein aidoin ja rautaportein, kuten vanhassa kantakaupungissa. Sisäpihat ja umpikorttelit voivat näin olla osa katutilaa ja esimerkiksi jalankulkijoiden käytettävissä (Tikka ym., 2015).



A. Katunäkymä Torkkelinmäeltä. VI: 47.4%



B. Katunäkymä Kampista. VI: 0.6%



C. Katunäkymä Oulunkylän liikekeskuksesta. VI: 17.1%



D. Katunäkymä Pitäjänmäen yritysalueella. VI: 12.5%



E. Katunäkymä omakotitaloalueelta Hakuninmaasta. VI: 47.6%



F. Katunäkymä Lauttasaaresta. VI: 33.8%



G. Katunäkymä Arabianrannasta. VI: 8.2%

Kuva 37. Katunäkymiä eri kaupunginosista, sekä jokaisesta katunäkymästä laskettu VI arvo (Google, 2019b).

Kuten GSV-kuvien välisistä aikaeroista huomattiin, Helsingin vihernäkymä muuttuu jatkuvasti. Tulevaisuudessa esimerkiksi kantakaupunkiin nousee uusia asuinalueita Keski-Pasilaan, sekä satamilta vapautuville alueille, kuten Jätkäsaareen, Hernesaareen, ja Sompasaareen (Helsingin kaupunkisuunnitteluvirasto, 2016). Entisten satama- ja raideliikennealueiden muuttumien asuinalueiksi tulee todennäköisesti lisäämään alueiden vihreyttä. Kantakaupunki tulee myös laajenemaan selvästi ulospäin ja moottoriteiden alku tulee mahdollisesti paikoin siirtymään Kehä 1 -tasolle (Helsingin kaupunkisuunnitteluvirasto, 2017). Vanhojen moottoriteiden bulevardisointi tulee luultavasti myös kasvattamaan alueiden vihreyttä ja viihtyisyyttä. Tämä kuitenkin ottaa aikansa, sillä varsinkin vihernäkymän kannalta tärkeät kaupunkipuut kasvavat hitaasti. Toisaalta rakentamattomille alueille, kuten virkistysalueille ja kaupunkimetsiin työntyvät asuinalueet tulevat laskemaan näiden alueiden vihernäkymiä.

Tarkasteltaessa Helsingin vihernäkymiä kuvaavia karttoja, on tärkeää ottaa huomioon aineiston alkuperä. Alueiden ilmoitetut VI-arvot kuvaavat vihernäkymää vain kadulta käsin. Näinollen, esimerkiksi suuret puistoalueet, kuten Keskuspuisto ja Helsingipuisto vaikuttavat VI-arvoihin vain teiden varsilta. Tästä johtuen jotkin ilmakuvissa hyvinkin vihreät alueet, kuten Haltiala ja Viikinranta, eivät erotu kaupunginosien vihernäkymäkartassa kovinkaan vihreinä. Myös aineiston epätasainen jakautuminen vaikuttaa vihernäkymiin. Karttoja tulkitessa on otettava huomioon, kuva-aineiston sisältämät aukot muun muassa Jätkäsaareessa, Sompasaareessa, Kalasatamassa sekä isossa osaa Pasilaa (Kuva 32). Näiltä alueilta GSV-kuvia ei ole lainkaan tai niitä on hyvin vähän. Myös virkistysalueina toimivien saarien, kuten Seurasaaren ja Mustikkamaan varsin alhaiset VI-arvot johtuvat aineiston puutteesta. Santahaminasta ei GSV-kuvia ole saatavilla turvallisuussyistä. Luotettavin tapa aineiston esittämiseksi lieneekin vihernäkymien esittäminen kuvapisteen tai katunoodien arvoina. Aineiston yksityiskohtaisuuden takia tämä on suurilla alueilla kuitenkin varsin vaikeaa.

5.3 Aineiston ja menetelmien hyödyntäminen tulevaisuudessa

Vihernäkymäaineisto ei korvaa aiempia kaupunkivihreysaineistoja eivätkä katunäkymäkuvat ilmasta käsin suoritettavaa kaukokartoitusta. Helsingistä on saatavilla todella tarkkoja aineistoja kasvillisuuden määrästä ja laadusta. Vihernäkymäaineistoa voidaan kuitenkin käyttää täydentämään jo saatavilla olevia aineistoja (Li, Zhang, Li, Ricard, ym., 2015). Kokonaisvaltaisen kuvan kaupunkivihreydestä toisi vihernäkymäaineiston yhdistäminen esimerkiksi puisto- ja viheralueaineistoihin. Tämä mahdollistaisi aikaisempaa tarkempien analyysien teon alueiden vihreydestä (Li ym., 2016). Koska aineisto kuvaa ensisijaisesti katujen vihreyttä, olisi sitä mahdollista käyttää esimerkiksi mahdollisimman vihreiden kävely ja polkupyöräily reittien suunnittelussa (Lu ym., 2018, 2019). Aineisto mahdollistaa myös uuden lähestymistavan Helsingin kaupunkiympäristön laatuun ja viihtyisyyteen liittyvissä tutkimuksissa, joissa vihernäkymää voidaan käyttää yhtenä viihtyisyyteen ja laatuun positiivisesti vaikuttavana tekijänä.

Vihernäkymän laskemisessa virhelähteet liittyivät pääasiassa katunäkymäkuvien luokitteluongelmiin. Tulevissa tutkimuksissa syväoppimiseen perustuvien luokittelumenetelmien käyttö katunäkymäkuvien luokittelussa, tulee ratkaisemaan ainakin suurimman ilmenneistä virheistä. Syväoppimisen keinoin on pystytty paremmin tuloksin erottamaan esimerkiksi kasvillisuus muista vihreistä objekteista katunäkymässä (Yang Cai ym., 2018).

Googlen katunäkymäkuvien suurimmat virhelähteet liittyivät niiden välisiin ajallisiin eroihin. Erityisesti vanhimmat, vuosina 2009 ja 2011 otetut kuvat, erosivat nykytilanteesta paikoitellen merkittävästi. Ellei Google lähiaikoina suunnittele Helsingin katunäkymäkuvien päivitystä, olisi tulevaisuudessa tutkimuksissa kannattavaa harkita ainakin vuoden 2009 kuvien käyttämättä jättämistä. Myös osa touko- ja syyskuuna otetuista katunäkymäkuvista aiheuttivat virhelähteitä. Helsingin vihernäkymäaineistoa hyödynnettäessä olisikin syytä harkita ainoastaan kesä-, heinä- ja elokuussa kuvattujen kuvapisteiden käyttämistä.

Googlen katunäkymäkuva palvelun kehittyessä voidaan odottaa yhä parempilaatuisia, ajantasaisempia ja spatiaalisesti kattavampia kuvia. Samojen alueiden uudelleen kuvaaminen tulee mahdollistamaan myös temporaalet muutostulkinnat eri-ikäisten kuvien välillä (Li ym., 2017). Olisikin hyvin mielenkiintoista tarkastella esimerkiksi vihernäkymän ajallista muutosta Helsingissä GSV-kuvien kautta.

6 Yhteenveto

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin vihernäkymän jakautumista Helsingissä. Vihernäkymää mitattiin GSV-kuvista lasketulla viherindeksillä, joka kertoo kasvillisuuden prosentuaalisen osuuden katunäkymästä. Viherindeksi arvoja vertailtiin vuoden 2006 seudullisen maanpeiteaineiston kasvillisuuspeittoon neljällä eri spatiaalisella tarkastelutasolla. Vertailun tarkoituksena oli selvittää onko viherindeksin ja kasvillisuuspeiton välillä yhteyttä sekä paikallistaa missä ja minkälaisilla alueilla eri perspektiiveistä kuvatut aineistot eroavat toisistaan. Tutkimuksen tavoitteena oli luoda katunäkymiin perustuva vihernäkymä aineisto Helsingistä, sekä tuoda esiin ihmisen perspektiivin ja ilmasta käsin tehdyn kartoituksen eroja.

Viherindeksin havaittiin korreloivan vahvimmin puuston ja muun vertikaalisen kasvillisuuden kanssa. Matalan kasvillisuuden, kuten ruohomaiden ja viherindeksin välinen yhteys todettiin heikoksi. Nämä tulokset olivat linjassa aikaisempien tutkimusten kanssa. Vertailun spatiaalisella tarkastelutasolla ei havaittu olevan merkittävää vaikutusta tuloksiin.

Aineistojen perspektiivieroista aiheutuvia eroavaisuuksia ilmeni erityisesti alueilla, joilla katunäkymää ympäröivä kasvillisuus ei jostain syystä näkynyt tielle. Tällaisia alueita on muun muassa kantakaupungissa, jossa pihojen kasvillisuus on keskittynyt sisäpihoille eikä näy kadulle. Toisaalta taas kasvillisuuspeittoon nähden korkeita VI-arvoja saivat esimerkiksi tiet, joilla kasvoi erittäin tuuheita katupuita tai rakennusten seinille ulottuvaa kasvillisuutta.

Kansainvälisesti vertailtuna Helsingin mediaani viherindeksi on varsin korkea. Kansainvälinen vertailu ei ole kovin laaja eikä tarkka, mutta antaa jonkinlaisen kuvan Helsingin katuvihreydestä muihin kaupunkeihin verrattuna. Helsingin mediaani VI-arvoa korottivat erityisesti kantakaupunkia ympäröivät asuntovaltaiset alueet. Näiden alueiden vihernäkymää kasvattivat runsas pihojen vihreys ja lukuisat viheralueet.

Asuinalueiden iällä havaittiin myös olevan vaikutusta vihernäkymään. Vanhat asuinalueet erottuivat vihernäkymäkartoilta selvästi vihreämpinä kuin nuoremmat 2000-luvulla rakennetut asuinalueet. Kantakaupunki erottui muusta Helsingistä selvästi alhaisemmilla VI-arvoilla. Kantakaupungissa vihernäkymää kasvattivat katupuurivit ja puistot. Myös useat yritysalueet sekä lähi- ja liikekeskukset erottuivat ympäröiviä alueita alhaisempina VI-arvoina.

Menetelmän suurimpina virhelähteitä ovat GSV-kuvien ajallisista eroista johtuvat virheet, sekä kuvien luokittelussa tapahtuvat virheet. Ongelmia luokittelussa aiheuttavat erityisesti hankalat valaistusolosuhteet sekä muut vihreät objektit kuten raitiovaunut ja vihreät rakennukset. Tulevaisuudessa ajantasaisemmat katunäkymäkuvat ja syväoppimista hyödyntävät kuvien luokittelumenetelmät tulevat parantamaan käytetyn menetelmän tarkkuutta.

Katunäkymäkuvien ja vihernäkymän etu on niiden kyky tuoda ihmisen perspektiivi mukaan kaupunkivihreyden määrää ja sen vaikutuksia käsittelevään tutkimukseen. Perinteisin kaukokartoitusmenetelmin hankittu aineisto ei yksin riitä kuvaamaan sitä maisemaa, jonka ihminen kadulla liikkeussaan näkee. Tässä tutkimuksessa lasketun vihernäkymäaineiston yhdistäminen jo saatavilla oleviin kaupunkivihreysaineistoihin mahdollistaa kaupunkivihreyden kokonaisvaltaisen tarkastelun Helsingissä.

7 Kiitokset

Reilu puoli vuotta sitten pohdiskelin ankarasti tulevan graduni aihetta. Olin vakaasti päättänyt valmistua keväällä 2019, mutta tiesin, että tulevasta talvesta tulisi varsin työntäyteinen. Nyt näytölläni lepää tarkistusta vaille valmis pro gradu – tutkielma. Vaikka en vielä arvosanaa tiedäkään, pidän työtäni onnistuneena. Onnistuneena siinä mielessä, että työn eri vaiheiden kautta olen käynyt uudestaan läpi suuren osan niistä tiedosta ja taidoista, jotka olen opiskeluvuosiensa aikana oppinut ja unohtanut. Olen kokeillut, erehtynyt, googlannut, kysynyt apua, googlannut vähän lisää, käynyt lenkillä ja lopulta löytänyt ratkaisun vastaan tulleisiin ongelmiin. Toisin sanoen, olen oppinut.

Haluaisin kiittää kaikkia työni ohjaajia heidän avustaan. Kiitos Tuuli Toivoselle mielenkiintoisen aiheen ehdottamisesta, sekä avusta tutkimuksen punaisen langan löytämisessä. Kiitos Juha Oksanen erittäin rakentavista palautteista, visualisointi vinkeistä, sekä joustavasta työ- ympäristöstä. Erityiskiitokset Ville Mäkiselle teknisestä tuesta, sekä ainaisesta valmiudesta ratkoa esiin nousseita haasteita yhdessä. Suuret kiitokset myös koko Maanmittauslaitoksen Paikkatietokeskuksen geoinformatiikan ja kartografian osastolle lämpimästä vastaanotosta työ-yhteisöönne. Kiitos kuuluu myös perheelle ja ystäville koko opiskeluajan kestäneestä tuesta.

Työssä on käytetty laskentaresursseja, jotka on tarjonnut ‘Avoin paikkatiedon tutkimusinfrastruktuuri’ (oGIIR, urn:nbn:fi:research-infras-2016072513).

8 Kirjallisuus

Anguelov, D., Dulong, C., Filip, D., Frueh, C., Lafon, S., Lyon, R., Ogale, A., Vincent, L. & Weaver, J. (2010). Google Street View: Capturing the World at Street Level. *Computer*, 43(6), 32–38. <https://doi.org/10.1109/MC.2010.170>

Badrinarayanan, V., Kendall, A., & Cipolla, R. (2017). Segnet: A deep convolutional encoder-decoder architecture for image segmentation. *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 39(12), 2481–2495. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2016.2644615>

- Berland, A., & Lange, D. A. (2017). Google Street View shows promise for virtual street tree surveys. *Urban Forestry & Urban Greening*, 21, 11–15. <https://doi.org/10.1016/J.UFUG.2016.11.006>
- Bucur, V. (2006). *Urban Forest Acoustics*. Berlin: Springer Berlin Heidelberg
- Carrasco-Hernandez, R., Smedley, A. R. D., & Webb, A. R. (2015). Using urban canyon geometries obtained from Google Street View for atmospheric studies: Potential applications in the calculation of street level total shortwave irradiances. *Energy and Buildings*, 86, 340–348. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2014.10.001>
- Cheng, Y. (1995). Mean Shift, Mode Seeking, and Clustering. *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 17(8), 790–799.
- Dong, R., Zhang, Y., Zhao, J., Dong, R., Zhang, Y., & Zhao, J. (2018). How Green Are the Streets Within the Sixth Ring Road of Beijing? An Analysis Based on Tencent Street View Pictures and the Green View Index. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(7), 1367. <https://doi.org/10.3390/ijerph15071367>
- Ford, L. (2000). *The spaces between buildings*. Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Gong, F.-Y., Zeng, Z.-C., Ng, E., & Norford, L. K. (2018). Spatiotemporal patterns of street-level solar radiation estimated using google street view in a high-density urban environment. *Building and Environment*, 148, 547–566 <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2018.10.025>
- Gong, F.-Y., Zeng, Z.-C., Zhang, F., Li, X., Ng, E., & Norford, L. K. (2018). Mapping sky, tree, and building view factors of street canyons in a high-density urban environment. *Building and Environment*, 134, 155–167. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2018.02.042>
- Google. (2019a). *Developer Guide Street View Static API*. 05.02.2019. Saatavissa: <https://developers.google.com/maps/documentation/streetview/intro>
- Google. (2019b). *Street View*. 18.03.2019. Verkko- osoitteessa: <https://www.google.com/streetview/>
- Grahn, P., & Stigsdotter, U. A. (2003). Landscape planning and stress. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2(1), 1–18. <https://doi.org/10.1078/1618-8667-00019>
- Haapala, A., Puolakka, K., & Rannisto, T. (2015). *Ympäristö, estetiikka ja hyvinvointi* <https://doi.org/10.21435/skst.1417>
- Helminen, V., Kosonen, P., Kalenoi, H., Ristimäki, M., Tiitu, M., & Tiikkaja, H. (2014). Helsingin metropolialueen yhdyskuntarakenne, Alakeskukset ja liikkuminen. *Suomen ympäristökeskuksen raportteja 18/2014*. 28.01.2019 Saatavissa: http://www.mal-verkosto.fi/filebank/875-Hgin_metropolialueen_yhdyskuntarakenne_SYKEra_18-2014.pdf
- Helsingin kaupunkisuunnitteluvirasto (2017) *Helsingin yleiskaava: Kaupunki-kaava*. 16.01.2019 Saatavissa: <https://www.hel.fi/hel2/ksv/julkaisut/esitteet/esite-2017-1-fi.pdf>

- Helsingin kaupunkisuunnitteluvirasto (2016) Helsingin yleiskaava. *Helsingin kaupunkisuunnitteluviraston yleissuunnitteluosaston selvityksiä*. 16.01.2019 Saatavissa: <http://www.yleiskaava.fi/yleiskaava/voimaan-tullut-yleiskaava/>
- HKKT. (2018) = Helsingin kaupunginkanslia, kaupunkitutkimus ja –tilastot (2018) *Tilastotietoja Helsingistä 2018* 10.05.2019 Saatavissa: https://www.hel.fi/hel2/tietokeskus/julkaisut/pdf/18_11_15_tasku18_su_net.pdf
- Holopainen, M., Kankare, V., Vastaranta, M., Liang, X., Lin, Y., Vaaja, M., ... Alho, P. (2013). Tree mapping using airborne, terrestrial and mobile laser scanning – A case study in a heterogeneous urban forest. *Urban Forestry & Urban Greening*, 12, 546–553. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2013.06.002>
- HSY. (2016) = Helsingin seudun ympäristöpalvelut (2016) *Pääkaupunkiseudun maanpeiteaineisto*. Aineisto on ladattu Helsinki Region Infoshare -palvelusta 14.12.2019 lisenssillä Creative Commons Attribution 4.0. Saatavissa: <https://hri.fi/data/fi/dataset/paakaupunkiseudun-maanpeiteaineisto>
- Hwang, Y. H., Lum, Q. J. G., & Chan, Y. K. D. (2015). Micro-scale thermal performance of tropical urban parks in Singapore. *Building and Environment*, 94, 467–476. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2015.10.003>
- Jäppinen, J.-P., Tyrväinen, L., Reinikainen, M., & Ojala, A. (2014). Luonto lähelle ja terveydeksi. Ekosysteemipalvelut ja ihmisen terveys. Argumenta-hankkeen (2013–2014) tulokset ja toimenpidesuosituksset. *Suomen ympäristökeskuksen raportteja 35/2014*. 7.2.2019 Saatavissa: <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/153461>
- Jensen, J. (1996). *Introductory digital image processing: a remote sensing perspective*. New Jersey: Prentice Hall Inc.
- Jensen, J. (2000). *Remote Sensing of the Environment An Earth Resource Perspective*. New Jersey: Prentice-Hall, Inc.
- Jim, C. Y., & Chen, W. Y. (2008). Assessing the ecosystem service of air pollutant removal by urban trees in Guangzhou (China). *Journal of Environmental Management*, 88(4), 665–676. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2007.03.035>
- Kaczynski, A. T., & Henderson, K. A. (2007). Environmental Correlates of Physical Activity: A Review of Evidence about Parks and Recreation. *Leisure Sciences*, 29(4), 315–354. <https://doi.org/10.1080/01490400701394865>
- Kauhanen, H., & Rönholm, P. (2012). Image acquisition constraints for panoramic frame camera imaging. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Melbourne, s. 397–402.
- Kweon, B.-S., Sullivan, W. C., & Wiley, A. R. (1998). Green Common Spaces and the Social Integration of Inner-City Older Adults. *Environment and Behavior*, 30(6), 832–858. <https://doi.org/10.1177/001391659803000605>
- KYMP. (2018a) = Helsingin kaupungin kaupunkiympäristön toimiala, kaupunkimittauspalvelut (2018a)

Helsingin kaupunginosat. Aineisto on ladattu Helsinki Region Infoshare -palvelusta 01.11.2018 lisenssillä Creative Commons Attribution 4.0. Saatavissa: <https://hri.fi/data/dataset/helsingin-kaupunginosat>

KYMP. (2018b) = Helsingin kaupungin kaupunkiympäristön toimiala, kaupunkimittauspalvelut (2018b). *Pääkaupunkiseudun seutukartta*. Aineisto on ladattu Helsinki Region Infoshare -palvelusta 06.12.2018 lisenssillä Creative Commons Attribution 4.0. Saatavissa: <https://hri.fi/data/fi/dataset/seutukartta>

KYMP. (2019) = Helsingin kaupungin kaupunkiympäristön toimiala, kaupunkimittauspalvelut (2019). *Helsingin Rakennukset* Aineisto on ladattu avoindata.fi -palvelusta 01.11.2018 lisenssillä Creative Commons Attribution 4.0. Saatavissa: <https://www.avoindata.fi/data/fi/dataset/helsingin-rakennukset>

Landry, S., & Chakraborty, J. (2009). Street trees and equity: evaluating the spatial distribution of an urban amenity. *Environment and Planning*, 41, 2651–2670. <https://doi.org/10.1068/a41236>

LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553), 436–444. <https://doi.org/10.1038/nature14539>

Leslie, E., Sugiyama, T., Ierodiasconou, D., & Kremer, P. (2010). Perceived and objectively measured greenness of neighbourhoods: Are they measuring the same thing? *Landscape and Urban Planning*, 95(1–2), 28–33. <https://doi.org/10.1016/J.LANDURBPLAN.2009.11.002>

Li, X., & Ratti, C. (2018). Mapping the spatial distribution of shade provision of street trees in Boston using Google Street View panoramas. *Urban Forestry & Urban Greening*, (31), 109–119. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.02.013>

Li, X., Ratti, C., Seiferling, I., Li, X., Ratti, C., & Seiferling, I. (2017). Mapping Urban Landscapes Along Streets Using Google Street View. *Advances in Cartography and GIScience: Selections from the International Cartographic Conference 2017*, 341–356. https://doi.org/10.1007/978-3-319-57336-6_24

Li, X., Zhang, C., & Li, W. (2015). Does the Visibility of Greenery Increase Perceived Safety in Urban Areas? Evidence from the Place Pulse 1.0 Dataset. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 4(3), 1166–1183. <https://doi.org/10.3390/ijgi4031166>

Li, X., Zhang, C., Li, W., & Kuzovkina, Y. A. (2016). Environmental inequities in terms of different types of urban greenery in Hartford, Connecticut. *Urban Forestry & Urban Greening*, 18, 163–172. <https://doi.org/10.1016/J.UFUG.2016.06.002>

Li, X., Zhang, C., Li, W., Kuzovkina, Y. A., & Weiner, D. (2015). Who lives in greener neighborhoods? The distribution of street greenery and its association with residents' socioeconomic conditions in Hartford, Connecticut, USA. *Urban Forestry & Urban Greening*, 14(4), 751–759. <https://doi.org/10.1016/J.UFUG.2015.07.006>

Li, X., Zhang, C., Li, W., Ricard, R., Meng, Q., & Zhang, W. (2015). Assessing street-level urban greenery using Google Street View and a modified green view index. *Urban Forestry & Urban Greening*, 14, 675–685. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2015.06.006>

Liang, J., Shen, S., Li, Y., Li, W., Liu, J., Zhou, J., ... Sun, J. (2017). Automatic Sky View Factor Estimation

from Street View Photographs—A Big Data Approach. *Remote Sensing*, 9(5), 411.
<https://doi.org/10.3390/rs9050411>

Liikennevirasto (2018) *Digiroad*. Aineisto on ladattu Liikenneviraston katselu- ja latauspalvelusta 1.12.2018 lisenssilä CC 4.0 BY. Saatavissa: <https://vayla.fi/avoindata/digiroad#.XFqQPFwzbiU>

Long, Y., & Liu, L. (2017). How green are the streets? An analysis for central areas of Chinese cities using Tencent Street View. *PLoS ONE*, 12(2). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0171110>

Lovasi, G. S., Quinn, J. W., Neckerman, K. M., Perzanowski, M. S., & Rundle, A. (2008). Children living in areas with more street trees have lower prevalence of asthma. *Journal of epidemiology and community health*, 62(7), 647–649. <https://doi.org/10.1136/jech.2007.071894>

Lu, Y. (2018). Using Google Street View to investigate the association between street greenery and physical activity. *Landscape and Urban Planning*. 02.11.2018 Saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169204618309952>

Lu, Y., Sarkar, C., & Xiao, Y. (2018). The effect of street-level greenery on walking behavior: Evidence from Hong Kong. *Social Science & Medicine*, 208, 41–49. <https://doi.org/10.1016/J.SOCSCIMED.2018.05.022>

Lu, Y., Yang, Y., Sun, G., & Gou, Z. (2019). Associations between overhead-view and eye-level urban greenness and cycling behaviors. *Cities*, 88, 10–18. <https://doi.org/10.1016/J.CITIES.2019.01.003>

Matasci, G., Coops, N. C., Williams, D. A. R., & Page, N. (2018). Mapping tree canopies in urban environments using airborne laser scanning (ALS): a Vancouver case study. *Forest Ecosystems*, 5(31), 31. <https://doi.org/10.1186/s40663-018-0146-y>

MIT Senseable City Lab. (2019). *Treepedia* 22.03.2019 Saatavissa: <http://senseable.mit.edu/treepedia>

Mitchell, R., & Popham, F. (2008). Effect of exposure to natural environment on health inequalities: an observational population study. *The Lancet*, 372(9650), 1655–1660. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(08\)61689-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(08)61689-X)

Mustafa, Y. T., Habeeb, H. N., Stein, A., & Sulaiman, F. Y. (2015). Identification and mapping of tree species in urban areas using worldview-2 imagery. *SPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2(W2), 28–30. <https://doi.org/10.5194/isprsannals-II-2-W2-175-2015>

Nowak, D. J., & Crane, D. E. (2002). Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA. *Environmental Pollution*, 116(3), 381–389. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00214-7](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00214-7)

Onishi, A., Cao, X., Ito, T., Shi, F., & Imura, H. (2010). Evaluating the potential for urban heat-island mitigation by greening parking lots. *Urban Forestry & Urban Greening*, 9(4), 323–332. <https://doi.org/10.1016/J.UFUG.2010.06.002>

OpenStreetMap contributors. (2018). *finland-latest-free*. Aineisto ladattu Geofabrik Download Server -

palvelusta 25.10. 2018 lisenssillä Creative Commons Attribution-ShareAlike 2.0. Saatavissa:
<https://download.geofabrik.de/europe/finland.html>

Otsu, N. (1979). A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 9(1), 62–66.

Ponti, M. P. (2013). Segmentation of low-cost remote sensing images combining vegetation indices and mean-shift. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 10(1), 67–70.
<https://doi.org/10.1109/LGRS.2012.2193113>

Räty, S., Toivonen, T., Hyypä, H., & Julin, A. (2017). *Ihmisen mittakaavaiset paikkatietoaineistot käveltyvyyden arvioinnissa - Tarkastelussa Helsingin keskustan kadut* (Julkaisematon pro gradu - tutkielma) Helsingin yliopisto. 22.10.2018 Saatavissa:
https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/228839/ProGradu_Satu_Raty.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Richards, D. R., & Edwards, P. J. (2017). Quantifying street tree regulating ecosystem services using Google Street View. *Ecological Indicators*, 77, 31–40. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2017.01.028>

Rundle, A. G., Bader, M. D. M., Richards, C. A., Neckerman, K. M., & Teitler, J. O. (2011). Using Google Street View to Audit Neighborhood Environments. *American Journal of Preventive Medicine*, 40(1), 94–100. <https://doi.org/10.1016/J.AMEPRE.2010.09.034>

Sanders, R. A. (1986). Urban vegetation impacts on the hydrology of Dayton Ohio. *Urban Ecology*, (9), 361–376.

Seiferling, I., Naik, N., Ratti, C., & Proulx, R. (2017). Green streets – Quantifying and mapping urban trees with street-level imagery and computer vision. *Landscape and Urban Planning*, (165), 93–101.
<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.05.010>

Suomen ympäristökeskus. (2013). Kaupunkiseutujen vihreän infrastruktuurin käsitteitä. *Suomen ympäristökeskuksen raportteja*, 39/2013 28.01.2019 Saatavissa:
https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/42483/SYKEra_39_2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y

SVT (2019) = Suomen virallinen tilasto 2019. Väestörakenne. ISSN=1797-5379. Helsinki: Tilastokeskus 8.5.2019 Saatavissa: <https://www.stat.fi/til/vaerak/>

Takano, T., Nakamura, K., & Watanabe, M. (2002). Urban residential environments and senior citizens' longevity in megacity areas: the importance of walkable green spaces. *Journal of epidemiology and community health*, 56(12), 913–918. <https://doi.org/10.1136/JECH.56.12.913>

Tanhuanpää, T., Kankare, V., Vastaranta, M., Saarinen, N., Holopainen, M., Raisio, J., ... Hyypä, H. (2014). 3D-tiedosta lisäarvoa kaupunkien vihersuunnitteluun sekä katu- ja puistopuiden hoitoon. *Metsätieteen aikakauskirja*, 4/2014. 16.10.2018 Saatavissa:
<http://www.metla.fi/aikakauskirja/full/ff14/ff144257.pdf>

Tanhuanpää, T., Vastaranta, M., Kankare, V., Holopainen, M., Hyypä, J., Hyypä, H., ... Raisio, J. (2014).

Mapping of urban roadside trees – A case study in the tree register update process in Helsinki City. *Urban Forestry & Urban Greening*, 13(3), 562–570. <https://doi.org/10.1016/J.UFUG.2014.03.005>

Tegel, S. (2009b). Kasvit ovat kaupungin vaatteet - Helsingin rakennettujen viheralueiden kasvien käytön linjaus. *Helsingin kaupungin rakennusviraston julkaisut/Katu- ja puisto-osasto*, 200(11), 46. Saatavissa: https://www.hel.fi/hel2/hkr/julkaisut/2009/kasvien_kayton_linjaus_11_2009.pdf

Terratec. (2016). *Menetelmäkuvaus ja laadunvarmistus. Ortoilmakuvatulkinta: Seudullinen Maanpeiteaineisto*. Helsinki: TerraTec Oy

Tikka, K., Lappalainen, L., & Järvinen, A. (2015). *Helsingin Sisäpihat Kertovat*. Helsinki: Minerva Kustannus Oy.

Tilastokeskus (2019). *YKR-aineisto*. 05.02.2019, Saatavissa: <https://www.stat.fi/tup/ykraineistot/index.html>

Tyrväinen, L., Silvennoinen, H., Korpela, K., & Ylen, M. (2007). Luonnon merkitys kaupunkilaisille ja vaikutus psyykkiseen hyvinvointiin. *Metlan työraportteja*, (52), 57–77. 25.03.2019 Saatavissa: <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2007/mwp052.htm>

United Nations. (2018). *The World's Cities in 2018 - Data Booklet*. 8.5.2019 Saatavissa: www.unpopulation.org

Vierikko, K., Salminen, J., Niemelä, J., Jalkanen, J., & Tamminen, N. (2014). Helsingin Yleiskaava. Helsingin kestävä viherrakenne. *Helsingin kaupunkisuunnitteluviraston yleissuunnitteluosaston selvityksiä*. 27/2014. 16.10.2018 Saatavissa: https://www.hel.fi/hel2/ksv/julkaisut/yos_2014-27.pdf

Vuori, P., & Kaaslia, M. (2018). Helsingin ja Helsingin seudun väestöennuste. *Tilastoja - Helsingin kaupunki, kaupunginkanslia, kaupunkitutkimus ja -tilastot 18/2018* 16.01.2019 Saatavissa: www.aluesarjat.fi

Wang, Y., & Akbari, H. (2016). The effects of street tree planting on Urban Heat Island mitigation in Montreal. *Sustainable Cities and Society*, 27, 122–128. <https://doi.org/10.1016/J.SCS.2016.04.013>

Wehr, A., & Lohr, U. (1999). Airborne laser scanning—an introduction and overview. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 54(2–3), 68–82. [https://doi.org/10.1016/S0924-2716\(99\)00011-8](https://doi.org/10.1016/S0924-2716(99)00011-8)

Wolch, J., Jerrett, M., Reynolds, K., McConnell, R., Chang, R., Dahmann, N., ... Berhane, K. (2011). Childhood obesity and proximity to urban parks and recreational resources: A longitudinal cohort study. *Health & Place*, 17(1), 207–214. <https://doi.org/10.1016/J.HEALTHPLACE.2010.10.001>

Yang Cai, B., Li, X., Seiferling, I., & Ratti, C. (2018). Treepedia 2.0: Applying Deep Learning for Large-scale Quantification of Urban Tree Cover: *IEEE International Congress on Big Data*. 49–56 doi: 10.1109/BigDataCongres.2018.00014.

Yang, J., Zhao, L., McBride, J., & Gong, P. (2009). Can you see green? Assessing the visibility of urban forests in cities. *Landscape and Urban Planning*, 91(2), 97–104.

<https://doi.org/10.1016/J.LANDURBPLAN.2008.12.004>

Yin, L., Cheng, Q., Wang, Z., & Shao, Z. (2015). 'Big data' for pedestrian volume: Exploring the use of Google Street View images for pedestrian counts. *Applied Geography*, 63, 337–345. <https://doi.org/10.1016/J.APGEOG.2015.07.010>

Yin, L., & Wang, Z. (2016). Measuring visual enclosure for street walkability: Using machine learning algorithms and Google Street View imagery. *Applied Geography*, 76, 147–153. <https://doi.org/10.1016/J.APGEOG.2016.09.024>

Zhang, B., Xie, G., Zhang, C., & Zhang, J. (2012). The economic benefits of rainwater-runoff reduction by urban green spaces: A case study in Beijing, China. *Journal of Environmental Management*, 100, 65–71. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2012.01.015>

Zhang, Y., & Dong, R. (2018). Impacts of Street-Visible Greenery on Housing Prices: Evidence from a Hedonic Price Model and a Massive Street View Image Dataset in Beijing. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(3), 104. <https://doi.org/10.3390/ijgi7030104>